

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS  
Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade



Dissertação

**Efeito do silício na resistência e no manejo da  
mancha amarela do trigo**

**Paulo César Pazdiora**

Pelotas, 2015.

**PAULO CÉSAR PAZDIORA**

**Efeito do silício na resistência e no manejo da  
mancha amarela do trigo**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Fitossanidade (área do conhecimento: fitopatologia).

Orientador: Leandro José Dallagnol, Dr.

Co-Orientadores: Carlos Alberto Forcelini, Dr.

Emerson Medeiros Del Ponte, Dr

Pelotas, 2015.

## **Banca examinadora**

---

Edemar Antonio Rossetto, Dr.

---

Cândida Renata Jacobsen de Farias, Dr<sup>a</sup>.

---

Cley Donizeti Martins Nunes, Dr.

---

Leandro José Dallagnol, Dr.  
(Orientador)

*Aos meus pais Elena e Clóvis;  
À minha irmã Vânia Carla;  
À meu irmão Gerson Antônio.*

*DEDICO*

## **Agradecimentos**

Agradeço em primeiro lugar a Deus por confiar mais esta oportunidade.

Aos meus pais Clóvis e Elena Pazdiora, pelo constante apoio, inclusive nas horas difíceis.

A meus irmãos Vânia e Gerson pelo companheirismo e pelos momentos de descontração.

À Rafaela Formoso pelo companheirismo, idéias e apoio.

À Universidade Federal de Pelotas e ao Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade, por proporcionarem condições de realizar este trabalho.

Ao Laboratório de Interação Planta-Patógeno por ceder o espaço para realização dos experimentos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo apoio financeiro.

Ao Professor Leandro José Dallagnol pela confiança em mim depositada, orientação e por seu exemplo de profissionalismo e competência.

Aos professores Carlos Alberto Forcelini e Emerson Medeiros Del Ponte, pela orientação e pelo auxílio prestado.

À professora Cândida Renata Jacobsen de Farias, pela disponibilidade de espaço para realização de parte do trabalho.

Ao Centro Agropecuário da Palma por ceder espaço para realização dos experimentos de campo.

Às empresas Biotrigo Genética e CCGL Tec por fornecer as sementes utilizadas nos experimentos.

Aos Laboratoristas Rosária e Sérgio Freitas, pelo auxílio nas atividades laboratoriais e pela troca de idéias.

Ao colega Keilor Dornelles, pela troca de ideias e pelo auxílio prestado durante todo período do mestrado.

Aos colegas Fabio Junior Araujo, Priscila Rossatto Mesenes, Silvia Letícia Santos da Paz Maich, Elem Bonilha, Bianca Correa, Carla Thunes, Daniela Pimentel, Maurício Sangiogo, pelas risadas e pelos momentos de descontração.

Aos amigos Robson Botta e Juliano Pazini, pela amizade, incentivo e companheirismo.

A todos que de uma forma ou de outra contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Muito Obrigado!

“Tudo o que um sonho precisa para ser realizado é alguém  
que acredite que ele possa ser realizado.”

(Roberto Shinyashiki)

## Resumo

PAZDIORA, Paulo Cesar. **Efeito do silício na resistência e no manejo da mancha amarela do trigo**. 2015. 65F. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

A mancha amarela causada por *Pyrenophora tritici-repentis* é a principal mancha foliar do trigo (*Triticum aestivum*). Por tratar-se de uma doença de difícil controle e com poucas opções eficazes para manejo, neste estudo foi avaliado o efeito do silício (Si) em plantas de trigo das cultivares Fundacep Horizonte (suscetível) e Quartzo (moderadamente resistente) sobre os componentes epidemiológicos da mancha amarela sob ambiente controlado, bem como na redução da intensidade da doença em condições de campo na associação ou não com fungicida (protioconazol + trifloxistrobina). Nos estudos a campo foi avaliado semanalmente a severidade da mancha amarela e no final do ciclo a produtividade, peso de mil sementes, peso de hectolitro (PH), porcentagem de grão chocho e sanidade das sementes. Em casa de vegetação foi avaliado o período de incubação, eficiência relativa de infecção, taxa de expansão da lesão, tamanho final da lesão e severidade da mancha amarela. Nos experimentos a campo, a concentração foliar de Si aumentou em até 27,8% nas plantas supridas com o elemento, em comparação as não supridas. Este incremento na concentração foliar de Si foi associado à redução significativa de até 50,7, 83,3 e 38,7%, respectivamente da área abaixo da curva de progresso da doença, severidade final e incidência de sementes contaminadas com *D. tritici-repentis*. Contudo, o PH, a porcentagem de grão chocho e peso de mil sementes não foram influenciados pelo Si. A aplicação de fungicidas foi significativa para todas as variáveis avaliadas, exceto para a concentração de Si na folha. Nos experimentos em casa de vegetação, a concentração foliar de Si aumentou em até 68,5% nas plantas tratadas com Si. Nestas plantas foi observado aumento significativo de 28,2% do período de incubação, e redução significativa de até 80,5, 67,2, 74,7, 87,5, 88,3, e 88,2%, respectivamente na taxa de expansão de lesão, área abaixo da curva de progresso da expansão de lesão, comprimento final de lesão, severidade final, taxa de progresso da doença e área abaixo da curva de progresso da mancha amarela. A diferença genética das cultivares também foi significativa para todos os componentes de resistência os quais foram mais expressivos na cultivar Quartzo independente da aplicação ou não de Si. Os resultados deste estudo mostram o potencial do Si para incrementar a resistência de plantas de trigo à mancha amarela da folha indicando que a fertilização silicata pode ser inserida no manejo integrado da doença.

**Palavras chave:** Epidemiologia; *Pyrenophora tritici-repentis*, Silicato de cálcio; *Triticum aestivum*.

## Abstract

PAZDIORA, Paulo Cesar. **Silicon effect in resistance and management of wheat tan spot**. 2015. 65F. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

The tan spot caused by *Pyrenophora tritici-repentis* is the main leaf spot of wheat (*Triticum aestivum*). As tan spot is a disease difficult to control because there are only few efficient measures to its management, in this study was evaluated the effect of the silicon (Si) application to susceptible (Fundacep Horizonte) and moderately resistant (Quartzo) wheat cultivars on the epidemiological components of the tan spot under controlled environment and, at the field, on the reduction of the disease intensity in association or not with fungicide (prothioconazole + trifloxystrobin) treatment. In the field studies, the disease severity was weekly evaluated. At the end of the crop, the yield, weight of a thousand seeds, hectolitre weight, percentage of shriveled grain and seed sanity were evaluated. In the greenhouse experiments was evaluated the incubation period, relative efficiency of infection, lesion growth rate, final length of the lesion and severity of the tan spot. In the field experiments, the leaf concentration of Si increased up to 27.8% in the plants supplied with the element in comparison to not supplied ones. This increase in leaf Si concentration was associated with the significant reduction up to 50.7, 83.3, 38.7%, respectively of the area under disease progress curve, final severity and the incidence of *D. tritici-repentis* in seeds. However, the hectolitre weight, the percentage of shriveled grain and weight of a thousand seeds were not influenced by Si. The application of fungicide was significant for all evaluated variables, except for leaf Si concentration. In the greenhouse experiments, the leaf Si concentration increased up to 68.5% in the plants treated with Si. In these plants, it was observed an significant increase up to 28.2% of the incubation period, and significant reduction up to 80.5, 67.2, 74.7, 87.5, 88.3, 88,2%, respectively in the lesion growth rate, area under the progress curve of the lesion growth, final length of the lesion, final severity, progress rate of the disease and area under tan spot progress curve. The genetic difference of the cultivars was also significant for all the resistance components, where the Quartzo cultivar presented the best average values regardless of the Si application. The results of this study showed the potential of Si to increase wheat plant resistance to the tan spot of the leaf, indicating that the silicate fertilization can be inserted in the integrated management of the disease.

**Keywords:** Epidemiology; *Pyrenophora tritici-repentis*, Calcium silicate; *Triticum aestivum*.

## Lista de figuras

- Figura 1. Eficiência relativa de infecção (ERI) de *D. tritici-repentis* em folhas de plantas de trigo das cultivares Fundacep Horizonte e Quartzo cultivadas em solo sem (-Si) e com fornecimento de silício (+Si). Barras representam o desvio padrão da média. (\*) Representa diferença significativa ( $p \leq 0.05$ ) pelo teste *t*, quando comparado plantas -Si e +Si para cada cultivar. (▲) Representa diferença significativa ( $p \leq 0.05$ ) pelo teste *t*, quando comparado cultivares nos tratamentos -Si ou +Si. Pelotas, RS/ UFPel, 2015.....51
- Figura 2. Sintomas da mancha amarela, às 192 horas após inoculação com *D. tritici-repentis*, em folhas de plantas de trigo das cultivares Fundacep Horizonte e Quartzo cultivadas em solo sem (-Si) e com (+Si) fornecimento de silício. Pelotas, RS/ UFPel, 2015. ....54

## Lista de tabelas

- Tabela 1. Resultado da análise físico-químicas do solo coletado antes da implantação do experimento em campo no ano de cultivo de 2013. Pelotas, RS/ UFPel, 2015.....23
- Tabela 2. Área abaixo da curva de progresso da mancha amarela (AACPD) nas folhas bandeira, bandeira-1 e bandeira-2 de plantas de trigo das cultivares Fundacep Horizonte (H) e Quartzo (Q) não supridas (-Si) ou supridas com silício (+Si) e não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) cultivadas no ano de 2013. Pelotas, RS/ UFPel, 2015. ....27
- Tabela 3. Área abaixo da curva de progresso da mancha amarela (AACPD) nas folhas bandeira, bandeira-1 e bandeira-2 de plantas de trigo das cultivares Fundacep Horizonte (H) e Quartzo (Q) não supridas (-Si) ou supridas com silício (+Si) e não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) cultivadas no ano de 2014. Pelotas, RS/ UFPel, 2015. ....29
- Tabela 4. Severidade da mancha amarela na bandeira, bandeira -1 e bandeira -2 aos 91 dias após a emergência das plantas de trigo das cultivares Fundacep Horizonte (H) e Quartzo (Q) não supridas (-Si) ou supridas com silício (+Si) e não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) cultivadas no ano de 2013. Pelotas, RS/ UFPel, 2015. ....30
- Tabela 5. Severidade da mancha amarela na bandeira, bandeira -1 e bandeira -2 aos 91 dias após a emergência das plantas de trigo das cultivares Fundacep Horizonte (H) e Quartzo (Q) não supridas (-Si) ou supridas com silício (+Si) e não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) cultivadas no ano de 2014. Pelotas, RS/ UFPel, 2015. ....31
- Tabela 6. Produtividade de grãos em quilogramas por hectare (Produtividade  $\text{Kg/ha}^{-1}$ ), peso do hectolitro (PH) e porcentagem (%) de grão chocho (GC) das cultivares Fundacep Horizonte (H) e Quartzo (Q) não supridas (-Si) ou supridas com silício (+Si) e não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) cultivadas no ano de 2013. Pelotas, RS/ UFPel, 2015. ....32
- Tabela 7. Produtividade de grãos em quilogramas por hectare (Produtividade  $\text{Kg ha}^{-1}$ ), peso do hectolitro (PH) e porcentagem (%) de grão chocho (GC) das cultivares Fundacep Horizonte (H) e Quartzo (Q) não supridas (-Si)

ou supridas com silício (+Si) e não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) cultivadas no ano de 2014. Pelotas, RS/ UFPel, 2015. .... 34

- Tabela 8. Concentração foliar de silício (Si) em porcentagem (%) da matéria seca, peso de mil sementes (PMS) e incidência de *D. tritici repentis* em sementes de trigo no teste de patologia de sementes (PS) para as cultivares Fundacep Horizonte (H) e Quartzo (Q) não supridas (-Si) ou supridas com silício (+Si) e não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) cultivadas no ano de 2013. Pelotas, RS/ UFPel, 2015. .... 36
- Tabela 9. Concentração foliar de silício (Si) em porcentagem (%) da matéria seca, e peso de mil sementes (PMS) para as cultivares Fundacep Horizonte (H) e Quartzo (Q) não supridas (-Si) ou supridas com silício (+Si) e não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) cultivadas no ano de 2014. Pelotas, RS/ UFPel, 2015. .... 37
- Tabela 10. Resultado da análise físico-químicas do solo usado nos experimentos em casa de vegetação. Pelotas, RS/ UFPel, 2015. .... 46
- Tabela 11. Período de incubação (PI), taxa de expansão de lesão ( $r$ ), comprimento final de lesão (CFL) e área abaixo da curva de progresso expansão de lesão (AACPEL) em folhas de plantas de trigo das cultivares Fundacep Horizonte (H) e Quartzo (Q) cultivadas em solo sem (-Si) e com fornecimento de silício (+Si) e inoculadas com *D. tritici-repentis*. Pelotas, RS/ UFPel, 2015. .... 52
- Tabela 12. Severidade final (SF), taxa de progresso da doença (TDP), área abaixo da curva de progresso da mancha amarela (AACPMA) e concentração foliar de silício (% Si na matéria seca) em folhas de plantas de trigo das cultivares Fundacep Horizonte e Quartzo cultivadas em solo sem (-Si) e com fornecimento de silício (+Si) e inoculadas com *D. tritici-repentis*. Pelotas, RS/ UFPel, 2015. .... 53

## Sumário

1.	Introdução.....	15
2.	CAPITULO I - Silício associado a fungicida no manejo da mancha amarela do trigo em campo .....	20
2.1.	Introdução.....	20
2.2.	Materiais e métodos.....	22
2.2.1.	Delineamento experimental .....	22
2.2.2.	Material vegetal e seu cultivo.....	23
2.2.3.	Características físico-químicas do solo e aplicação dos tratamentos .....	23
2.2.4.	Avaliação da incidência e severidade da mancha amarela .....	24
2.2.5.	Componentes de rendimento.....	25
2.2.6.	Teste de sanidade das sementes .....	26
2.2.7.	Análise foliar das concentrações de si.....	26
2.2.8.	Análise estatística dos dados .....	26
2.3.	Resultados.....	26
2.4.	Discussão .....	38
2.5.	Conclusões .....	40
3.	CAPITULO II – Influencia do Si nos componentes de resistência do trigo contra mancha amarela .....	42
3.1.	Introdução.....	42
3.2.	Materiais e métodos.....	45
3.2.1.	Delineamento experimental .....	45
3.2.2.	Material vegetal e seu cultivo.....	45
3.2.3.	Características físico-químicas do solo e aplicação dos tratamentos .....	46
3.2.4.	Isolado de <i>Drehslera tritici repentis</i> e inoculação das plantas.....	47
3.2.5.	Avaliação dos componentes de resistência .....	48
3.2.6.	Análise foliar da concentração de Si.....	49

3.2.7. Análise estatística .....	50
3.3. Resultados.....	50
3.3.1. Componentes de resistência .....	50
3.3.2. Concentração foliar de si .....	54
3.4. Discussão .....	54
3.5. Conclusões .....	57
3.6. Considerações finais.....	58
4. Referências.....	59

## 1. Introdução

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é o segundo cereal mais consumido no mundo, ficando apenas atrás do arroz (CONAB, 2015). Dentre os países com maior consumo, o Brasil ocupa a 11<sup>o</sup> posição, com estimativa de consumo de aproximadamente 12,2 milhões de toneladas para 2014/15 (CONAB, 2015). Contudo, esta demanda não é suprida pela produção nacional que na safra de 2014 foi de aproximadamente 5.903,9 mil toneladas (CONAB, 2015). Nesta safra, a produtividade média brasileira foi de 2.162 Kg ha<sup>-1</sup>, já a do estado do Rio Grande do Sul de 1.330 Kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2015).

A alta intensidade de doenças, historicamente, é apontada como parte dos principais fatores limitantes à alta produtividade, (FORCELINI; REIS, 2005; REIS; CASA, 2007). As doenças com maior potencial de dano na cultura do trigo são as que atacam a espiga e as manchas foliares (REES; PLATZ, 1983; REIS; CASA, 2007). Segundo Rees e Platz (1983), a mancha amarela, *Pyrenophora tritici-repentis* Died. (anamorfo *Drehslera tritici-repentis* Died.) é a principal doença foliar do trigo responsável por danos de até 48%. Esta doença tem apresentado maior incidência e severidade quando o trigo é cultivado em mono cultivo e em sistema de plantio direto (BANKINA et al., 2014; PRESTES; DOS SANTOS; REIS, 2002).

*Pyrenophora tritici-repentis*, sobrevive em restos culturais na fase ascógena produzindo pseudotécios eruptivos negros, ascósporos ovais a globosos na coloração pardo-amarela, apresentando três septos transversais com leve constricção (REIS; CASA, 2007; SIVANESAN, 1987). Na fase anamórfica, a qual pode ser encontrada quando o patógeno sobrevive em sementes de trigo, nas áreas de cultivo, em hospedeiros alternativos e na forma de inoculo secundário durante epidemias, do fungo apresenta conidióforos simples ou agrupados em dois ou três que emergem através de estômatos ou entre as células epidérmicas, são retos ou flexuosos, cilíndricos ou ligeiramente afinados no ápice e dilatados na base. Os

conídios são solitários, retos ou ligeiramente curvos com ápice arredondado, hialinos a pardacentos, lisos e septados (FORCELINI; REIS, 2005; REIS; CASA, 1996; SIVANESAN, 1987).

A dispersão do patógeno para áreas indenes pode ocorrer à longa distância por meio de sementes contaminadas, e a curtas distâncias, entre plantas, pelos respingos de gotas de água associados ao vento (CARMONA; FERRAZINI; BARRETO, 2006). O fungo *D. tritici-repentis* quando veiculado pela semente tem capacidade de infectar plântulas de trigo com taxa de transmissão de 31 até 60% (CARMONA; FERRAZINI; BARRETO, 2006; SCHILDER; BERGSTROM, 1995). Plantas de trigo são suscetíveis a infecção pelo patógeno desde a emergência até seu estágio final de desenvolvimento. Segundo Cox e Hosford (1987), folhas mais velhas são mais predispostas a infecção quando comparadas com folhas mais jovens. As lesões da mancha amarela ocorrem de 3 a 5 dias após a inoculação do patógeno (RANZI, 2012), apresentam formato elíptico circundadas por um halo amarelo com região central necrosada, de cor parda, podendo atingir o tamanho de até 12 mm (REIS; CASA, 2005).

As medidas de controle da mancha amarela no trigo têm sua eficiência limitada devido à elevada variabilidade genética do patógeno, sua fácil disseminação e sobrevivência (REIS; CASA, 1996). As estratégias atualmente adotadas para o controle da doença visam à redução do inóculo inicial por meio da rotação de culturas e uso de sementes livres do patógeno (FORCELINI, 2005) e redução da taxa de progresso da epidemia por meio da utilização de cultivares com resistência moderada complementado com aplicação foliar de fungicidas (REIS; CASA, 1996). Um dos limitantes para obtenção de variedades com resistência satisfatória a mancha amarela é a elevada variabilidade, fato este que deve-se a alta capacidade de recombinação genética deste patógeno (TADESSE et al., 2011). Atualmente são conhecidas cultivares com níveis de resistência moderada a este patógeno, por agregarem mais de um gene de efeito menor ou genes de conferem insensibilidade a alguma das toxinas, conferindo assim resistência a algumas raças do patógeno (FARIS; LIU; XU, 2013).

Atualmente a alternativa de controle mais eficiente é a aplicação de fungicidas (RANZI, et al., 2013), especialmente os pertencentes aos grupos

químicos dos Triazóis, Estrobilurinas e Carboxamidas. Todavia a utilização deste método de controle se realizada de forma pouco fundamentada, como aplicações seqüenciais preventivas de fungicidas, muitas vezes desnecessárias, contribuem para o aumento no custo de produção e proporciona alta pressão de seleção ao patógeno, o que pode ocasionar o surgimento de populações resistentes a fungicidas (JORGENSEN; OLSEN, 2007; PATEL *et al.*, 2011; PATEL *et al.*, 2012). Além disso, a má utilização do controle químico, em condições desfavoráveis ou aplicações preventivas desnecessárias, aumenta o impacto ambiental da agricultura. Alternativas, como a indução de resistência e o controle alternativo têm apresentado certa eficiência no controle da mancha amarela do trigo, principalmente quando usados de forma preventiva (PAGANI; DIANESE; CAFE-FILHO, 2014; RANZI, *et al.*, 2013).

Nesse contexto, a aplicação de silício (Si) apresenta-se como uma alternativa atrativa para o controle de doenças de plantas. Sendo o Si o segundo elemento mais abundante na superfície da terra, é considerado um semi-metal e está presente na solução do solo na forma de ácido monossilícico (DATNOFF; RODRIGUES; SEEBOLD, 2007). No entanto, em algumas regiões de cultivo agrícola a disponibilidade de Si às plantas pode ser limitada devido às características da composição do solo e também pela remoção do elemento realizado pelas culturas (LIANG, 1994). Plantas monocotiledôneas e dicotiledôneas possuem capacidade de absorver Si do solo (DATNOFF; RODRIGUES; SEEBOLD, 2007), a qual se dá via raiz, sendo o mesmo translocado via xilema e polimerizado na epiderme dos tecidos vegetais (HAYASAKA; FUJII; ISHIGURO 2008; KANTO *et al.*, 2004; KIM *et al.*, 2002; YOSHIDA *et al.*, 1962).

A absorção de Si pelas raízes pode ocorrer de forma ativa, envolvendo proteínas de transporte, e ou passiva, carregado junto com a água (DALLAGNOL *et al.*, 2009; MA *et al.*, 2006; XU; LIU, 2006). Inúmeras pesquisas, compiladas na publicação de Datnoff, Rodrigues e Seebold, (2007), já demonstraram o benefício do acúmulo de Si pelas plantas na redução da intensidade de doenças, cujo efeito está associado a alterações estruturais e bioquímicas nos tecidos da planta.

Uma alteração na estrutura geralmente observada é a deposição de Si na epiderme, que atua formando uma barreira física contra a penetração de

patógenos (KIM, et al.,2002). Outros estudos indicam que o Si também potencializa a deposição de calose e formação de papilas as quais atuam como mecanismo estrutural de defesa (RODRIGUES et al., 2003; BELANGER; BENHAMOU; MENZIES, 2003; SAMUELS et al., 1994). Contudo, alterações de vários componentes bioquímicos por meio de modificações no funcionamento do metabolismo da planta, são as que geram maior efeito em impedir a penetração e colonização dos tecidos das plantas por patógenos. (CHERIF et al., 1992; RODRIGUES et al., 2003; RODRIGUES et al., 2004; DALLAGNOL et al., 2009; DALLAGNOL et al., 2012; DALLAGNOL et al., 2014). Entre as barreiras bioquímicas potencializadas pelo Si em plantas contra patógenos podem ser citadas antecipação e maior produção de fitoalexinas e compostos fenólicos além da antecipação e alteração da atividade de enzimas envolvidas no sistema antioxidante como as peroxidases, catalases, superóxido dismutases, entre outras, bem como de ação direta sobre o patógeno como as quitinases e glucanases (CHERIF et al., 1992; RODRIGUES et al., 2004; DALLAGNOL et al., 2009; DALLAGNOL et al., 2011; DOMICIANO, et al., 2010; XAVIER FILHA et al., 2011).

As modificações nos mecanismos de defesa estruturais e bioquímicos potencializados pelo Si resultam em alterações nos componentes de resistência proporcionando um maior período de incubação, e menor eficiência relativa de infecção e taxa de expansão de lesão. Estes efeitos levaram a redução na taxa de progresso da doença, como já demonstrado em arroz, melão, pepino e trigo, respectivamente para *Bipolaris oryzae*, *Podosphaera xanthii*, *Pythium ultimum* e *Pyricularia grisea* (CHERIF et al., 1992; DALLAGNOL et al., 2009; DALLAGNOL et al., 2012; XAVIER FILHA et al., 2011)

O trigo possui a capacidade de acumular altas concentrações de Si, podendo chegar até 16 g kg<sup>-1</sup> de matéria seca (SOUSA, et al., 2013). No trigo, a suplementação de Si reduziu a intensidade de algumas doenças de importância econômica. Belanger; Benhamou e Menzies, (2003), relataram redução significativa na severidade de oídio causado por *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*. A mancha marrom do trigo (*Bipolaris sorokiniana*) e a brusone do trigo (*Pyricularia grisea*) também foram reduzidas pela aplicação de Si (DOMICIANO, et al., 2010; XAVIER FILHA et al., 2011). Essencialmente para essas doenças, foi observado que o fornecimento

de Si as plantas de trigo conferiu acréscimo no período de incubação e redução no número de lesões por área foliar e na taxa de expansão da lesão resultando em menor severidade da doença.

Com base nesses resultados promissores, observados pela aplicação de Si na redução da intensidade de algumas doenças do trigo e diante da limitada disponibilidade de medidas eficazes para a redução da severidade da mancha amarela do trigo, acredita-se que o fornecimento de Si pode vir a se tornar uma estratégia a ser incorporada no manejo integrado dessa doença.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi elucidar o efeito da aplicação de Si no controle da mancha amarela do trigo. Neste estudo é reportado os resultados da aplicação de Si para o manejo da mancha amarela em duas cultivares, suscetível e moderadamente resistente, na presença e ausência de aplicação de fungicida em condições de campo. Ademais, um estudo detalhado do efeito do Si sobre componentes de resistência da planta de trigo foi realizado visando identificar como o Si pode contribuir para reduzir a severidade da mancha amarela.

## 2. CAPITULO I - Silício associado a fungicida no manejo da mancha amarela do trigo em campo

### 2.1. Introdução

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é o principal cereal de inverno cultivado no Sul do Brasil, com 2.576,6 mil ha de área plantada em 2014 (CONAB, 2015). Entre os principais problemas dessa cultura, destacam-se as doenças como um fator limitante na produção deste cereal (FORCELINI; REIS, 2005; REIS; CASA, 2007). Dentre as doenças que acometem a cultura do trigo se destacam as que afetam a espiga e as manchas foliares por apresentarem um maior potencial de dano (REES; PLATZ, 1983; REIS; CASA, 2007).

A mancha amarela é a principal doença foliar que atinge o trigo causando redução no rendimento de grãos de até 48% (REES e PLATZ, 1983; DUVEILLER et al., 2007). Essa doença é causada pelo fungo *Pyrenophora tritici-repentis* Died. (anamorfo *Drehslera tritici-repentis* Died.), o qual possui a capacidade de sobreviver em restos culturais e sementes, além da permanência nas áreas de cultivo em hospedeiros alternativos (CARMONA; FERRAZINI; BARRETO, 2006; REIS; CASA, 1996). O fungo *D. tritici-repentis* pode ser introduzido em áreas de cultivo indenes por meio de sementes contaminadas e dispersão eólica (CARMONA; FERRAZINI; BARRETO, 2006; REIS; CASA, 1996). Em áreas onde o cultivo do trigo é realizado em monocultura associada ao sistema de plantio direto, que preserva restos culturais sobre a superfície do solo, foi reportada maior incidência e severidade da mancha amarela (BOCKUS; CLAASSEN, 1992).

As plantas de trigo podem ser infectadas em qualquer estágio de desenvolvimento, porém folhas mais velhas são mais predispostas que folhas jovens (COX; HOSFORD, 1987) e, quando a disseminação ocorre a partir de sementes contaminadas, o patógeno infecta a plúmula das plântulas depois da emergência

(CARMONA; FERRAZINI; BARRETO, 2006). Após a infecção, especialmente em folhas, são observadas pequenas manchas cloróticas que se expandem formando lesões elípticas de até 12 mm de comprimento. Estas lesões apresentam um halo amarelado e a região central necrosada de cor parda podendo causar a morte de toda a folha quando ocorre a coalescência das lesões (REIS; CASA, 1996).

A alta variabilidade do patógeno, o grande número de plantas hospedeiras e a sua facilidade de introdução em áreas livres tornam o controle deste muito difícil (REIS; CASA, 1996), levando a uma limitação das medidas de controle eficazes. O manejo da mancha amarela envolve essencialmente a adoção de rotações de culturas, uso de sementes livres do patógeno e fungicidas (FORCELINI, 2005), uma vez que o uso de cultivares resistentes mesmo sendo preconizado (REIS; CASA, 1996), é limitado devido à ampla viabilidade genética do patógeno (TADESSE et al., 2011). Cultivares com níveis de resistência moderada são conhecidas por agregarem mais de um gene recessivo, que conferem resistência moderada a algumas raças do patógeno (FARIS; LIU; XU, 2013). Em contrapartida, a integração dos métodos de controle químico, indução de resistência e controle alternativo tem demonstrado eficiência para controlar a mancha amarela do trigo, principalmente quando utilizados de forma preventiva (BANKINA et al., 2014; PAGANI; DIANESE; CAFE-FILHO, 2014; PFENDER; KRAUS; LOPER, 1993; PFENDER; SHARMA; ZHANG, 1991).

A utilização de silício (Si) tem se mostrado como uma alternativa para o controle de diversas doenças de plantas (DATNOFF; RODRIGUES; SEEBOLD, 2007). Plantas monocotiledôneas quanto dicotiledôneas possuem capacidade de absorver Si, sendo que algumas espécies possuem genes que codificam proteínas responsáveis pelo transporte ativo de Si, como já reportado para o arroz, cevada, milho e trigo, enquanto em outras espécies apenas o transporte passivo é o responsável pela absorção de Si (DALLAGNOL et al., 2009; DATNOFF; RODRIGUES; SEEBOLD, 2007; MA et al., 2002; MA et al., 2011). O Si é translocado na planta através do xilema e depositado na forma de polímero nos tecidos vegetais (MA et al. 2001)

O efeito do Si na planta vem sendo estudado há anos, e os resultados apontam diversos benefícios, como maior resistência a acamamento, ao estresse

hídrico e ao ataque de pragas (AGARIE et. al., 1998; CORREA et. al., 2005; LIANG, et. al., 1994). Porém, um dos efeitos do Si mais estudados é o efeito no controle de doenças das plantas. Datnoff; Rodrigues e Seebold (2007) realizaram uma compilação de diversos estudos que avaliaram a aplicação de Si para reduzir a intensidade das doenças em plantas, mostrando redução de inúmeras doenças de importância em dezenas de espécies de plantas cultivadas. O trigo, por ser uma planta com capacidade de acumular concentrações de Si superiores a 16 g kg<sup>-1</sup> (SOUSA et al., 2013), também é beneficiado pela redução da intensidade de várias doenças de importância econômica como oídio, mancha marrom e brusone (BELANGER; BENHAMOU; MENZIES, 2003; XAVIER FILHA et al., 2011; DOMICIANO et al., 2010).

Assim, diante da dificuldade de manejo da mancha amarela do trigo e dos resultados promissores do Si em reduzir diversas doenças economicamente importantes em inúmeras espécies, inclusive na cultura do trigo, o objetivo desse estudo foi avaliar o efeito da aplicação de Si no solo associado com a aplicação foliar de fungicida na redução da intensidade da mancha amarela em plantas de trigo suscetíveis e moderadamente resistentes.

## **2.2. Materiais e métodos**

Os experimentos foram realizados na área experimental pertencente ao Centro Agropecuário da Palma (CAP)/Universidade Federal de Pelotas, localizado no Km 537 da BR 116 no município de Capão do Leão.

### **2.2.1. Delineamento experimental**

Os experimentos foram realizados com delineamento em blocos casualizados e analisados em esquema fatorial 2 x 2 x 2 com quatro repetições. Os fatores avaliados foram: fornecimento de Si (com e sem Si), material vegetal (MV) (cultivares Quartzo e Fundacep Horizonte) e fungicida (com e sem aplicação de fungicida). Cada repetição foi constituída por uma parcela de 10 m<sup>2</sup> (2 x 5 metros) sendo considerado como área útil 4,8 m<sup>2</sup> (1,2 x 4 metros). Os experimentos foram realizados nas safras 2013 e 2014, com reaplicação de calcário e Si.

### 2.2.2. Material vegetal e seu cultivo

As cultivares utilizadas foram Fundacep Horizonte (Cooperativa Central Gaúcha Ltda – CCGL Tec) e Quartzo (OR sementes/Biotrigo Genética), selecionadas com base em informações técnicas, onde a cultivar Fundacep Horizonte é considerada suscetível e a Quartzo é considerada moderadamente resistente a manchas foliares, além das mesmas apresentarem semelhanças na duração de seu ciclo de desenvolvimento.

A semeadura foi realizada de forma manual, em linhas espaçadas em 20 cm e uma população final de 300 plantas por m<sup>2</sup>. Durante o ciclo da cultura foram realizadas, quando necessárias, aplicações do herbicida Hussar (Iodosulfurometilico) e do inseticida Connect (Imidacloprido + Beta-ciflutrina).

### 2.2.3. Características físico-químicas do solo e aplicação dos tratamentos

Com base nos dados da análise química do solo (tab. 1) foram realizadas as correções de fertilidade e calagem para uma produção de 4 ton ha<sup>-1</sup>, conforme indicado nas recomendações técnicas para a cultura (REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 2013).

Tabela 1. Resultado da análise físico-químicas do solo coletado antes da implantação do experimento em campo no ano de cultivo de 2013. Pelotas, RS/ UFPel, 2015.

Argila	pH	MO	P	K	CA	Mg
g.kg <sup>-1</sup>	em água	g.dm <sup>-3</sup>	mg.dm <sup>-3</sup>		mmolc.dm <sup>-3</sup>	
170	5,4	15	10	4	29	13
Mn	Al	H + Al	CTC efetiva	Saturação por bases	Saturação por alumínio	Si
	mmolc.dm <sup>-3</sup>			%	%	mg.dm <sup>-3</sup>
13	1	22	44	66	2	10

A fonte de Si utilizada nos experimentos foi o Silicato de Cálcio, produto comercial Agrosilício (Agronelli Insumos Agrícolas, Uberaba/MG) composto por 25% de cálcio, 6% de magnésio e 10,5% de silício. A dose equivalente de silicato de

cálcio foi de 2,49 ton ha<sup>-1</sup>, considerada suficiente para aumentar o pH do solo em até 6,5. Com a finalidade de isolar o efeito do Si, nos tratamentos que não receberam silicato de cálcio, foi aplicado calcário extra fino (Dagoberto Barcelos, Caçapava do Sul/RS) composto por 26,5% de cálcio e 15% de magnésio, na dose equivalente a 1,96 ton ha<sup>-1</sup>. As doses de cada produto foram calculadas baseadas no pH do solo e PRNT (Poder Relativo de Neutralização Total) de cada produto.

Os corretivos foram incorporados ao solo, com auxílio de uma enxada rotativa, trinta dias antes da semeadura, para que ocorresse a solubilização dos elementos minerais. Cada unidade experimental foi separada por 100 cm de distância e cercadas por sulcos de 30 cm de profundidade com a finalidade de evitar a contaminação pelos corretivos entre as unidades experimentais. No dia da semeadura foram retiradas amostras de solo de cada tratamento para determinação da concentração de Si disponível e do pH do solo, sendo os valores encontrados de 10,5 e 16,0 mg.dm<sup>-3</sup> de Si disponível e 6,9 e 6,8 de pH, respectivamente para os tratamentos que receberam calcário e silicato de cálcio. Para a segunda repetição do experimento os corretivos silício e calcário foram reaplicados novamente para manter o pH do solo a 6,5.

As aplicações do fungicida protioconazol 150,0 g/L (Triazolinthione) + trifloxistrobina 175,0 g/L (Estrobilurina) foram realizadas nos estádios fenológicos de emborrachamento, florescimento e enchimento de grão na dose indicada nas recomendações técnicas da cultura (REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 2013). Para aplicação foi utilizado pulverizador de pesquisa costal com pressurização a base de CO<sub>2</sub> ao qual foi acoplada uma barra de 2 metros com quatro pontas de pulverização de jato plano duplo (TeeJet®) com 60° de ângulo entre cada jato de pulverização. O volume de calda aplicado foi o equivalente a 200 L hectare<sup>-1</sup>. As pulverizações foram sempre realizadas no período da manhã entre sete e dez horas e a velocidade do vento no momento das aplicações foi inferior a oito (8) km h<sup>-1</sup>.

#### **2.2.4. Avaliação da incidência e severidade da mancha amarela**

A partir do monitoramento da incidência da mancha amarela realizado semanalmente após a emergência das plântulas, sendo avaliadas vinte plantas por

parcela, foi observada a presença ou ausência da doença nas folhas. Quando foi detectada a incidência da doença, aos setenta dias após a emergência (estádio fenológico de emborrachamento), iniciaram-se as avaliações da severidade as quais foram repetidas com intervalos de sete dias, até a fase de maturação fisiológica da cultura. Para quantificação da severidade foram selecionadas dez plantas dentro da área útil da parcela, nas quais foram avaliadas as folhas bandeiras, bandeira -1 (primeira folha abaixo da folha bandeira) e bandeira -2 (segunda folha abaixo da folha bandeira). Os dados foram expressos em porcentagem de área foliar afetada pelo sintoma da mancha amarela em relação à área total da folha. Adicionalmente, a fim de ratificar as avaliações em campo, em cada parcela foram amostradas aleatoriamente cinco plantas, das quais todas as folhas foram individualmente digitalizadas em escâner na resolução de 600 dpi e em seguida analisadas no software Quant (VALE; FERNANDES FILHO; LIBERATO 2003). Os dados coletados de severidade foram usados para calcular a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) utilizando-se para tal, a fórmula proposta por Shaner e Finney (1977).

### **2.2.5. Componentes de rendimento**

A colheita das plantas na área útil (4,8 m<sup>2</sup>) da parcela foi realizada manualmente na maturação fisiológica. A trilha foi realizada com uma trilhadeira mecânica (EDA, modelo TR. PARCELA). Para cada parcela, os grãos foram coletados separadamente e após o ajuste da umidade para 13% utilizados para determinar os seguintes componentes de rendimento: produtividade por hectare, peso de mil grãos, porcentagem de grãos chochos e peso do hectolitro (PH).

A produtividade por hectare foi determinada a partir de regra de três onde a produção da área da parcela foi extrapolada para um hectare. O peso de mil grãos foi determinado para cada parcela utilizando-se uma balança analítica (SHIMADZU modelo, BL 3200H). A porcentagem de grãos chochos foi determinada pela contagem dos grãos chochos em quatro subamostras de cem grãos de cada parcela, totalizando quatrocentos grãos. Nesta avaliação foi considerado grão chocho aquele que apresentava menor tamanho com aspecto enrugado e com menor densidade, quando comparado com um grão normal. O peso de hectolitro foi

determinado para cada parcela utilizando uma balança de peso específico da marca Dallemolle, e de acordo com as normas internacionais.

#### **2.2.6. Teste de sanidade das sementes**

Após a colheita, a sanidade das sementes colhidas foi determinada conforme as Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 2009). A identificação da *D. tritici-repentis* foi realizada com auxílio de um microscópio estereoscópico e óptico com base na morfologia das estruturas reprodutivas (ALCORN, 1988). Os resultados de incidência foram expressos em porcentagem de sementes contaminadas.

#### **2.2.7. Análise foliar das concentrações de si**

Para determinação da concentração foliar de Si foram coletadas amostras de folhas bandeira de plantas de trigo no estágio de enchimento de grão dentro da área útil de cada unidade experimental totalizando trinta e duas amostras. Após a coleta, as folhas foram lavadas com água destilada e em seguida secas em estufa a 70°C até atingirem peso constante. Em seguida, as folhas desidratadas, foram moídas em moinho tipo Willye equipado com peneira de 20 mesh. A determinação da concentração foliar de Si foi realizada de forma colorimétrica a partir de 0.1 g de tecido seco submetido à digestão básica (KORNDÖRFER, PEREIRA E NOLLA, 2004)

#### **2.2.8. Análise estatística dos dados**

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando observada diferença estatística significativa as médias foram comparadas pelo teste t ( $P \leq 0.05$ ). As análises foram efetuadas com o software SAS (SAS Institute Inc., 1989, Cary, NC, USA).

### **2.3. Resultados**

Para AACPD foi observada interação significativa entre os fatores estudados. Na comparação das cultivares na presença ou ausência de Si na safra 2013, não foi observada diferença significativa para a AACPD na folha bandeira (tab.

2). Por outro lado, a AACPD foi significativamente menor para a cultivar Quartzo em 71,8 e 64,9% na folha bandeira-1, respectivamente sem e com fornecimento de Si e em 55,2 e 62,8% na folha bandeira-2, respectivamente sem e com fornecimento de Si (tab.2). A suplementação de Si às plantas de trigo reduziu significativamente a AACPD da mancha amarela em 38,0, 33,0 e 15,1%, respectivamente nas folhas bandeira, bandeira-1 e bandeira-2 da cultivar Fundacep Horizonte e em 20,3, 16,9 e 29,5%, respectivamente nas folhas bandeira, bandeira-1 e bandeira-2 da cultivar Quartzo (tab. 2).

Tabela 2. Área abaixo da curva de progresso da mancha amarela (AACPD) nas folhas bandeira, bandeira-1 e bandeira-2 de plantas de trigo das cultivares Fundacep Horizonte (H) e Quartzo (Q) não supridas (-Si) ou supridas com silício (+Si) e não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) cultivadas no ano de 2013. Pelotas, RS/ UFPel, 2015.

	Bandeira			Bandeira -1			Bandeira -2		
	- Si	+Si	Dif. (%)	- Si	+Si	Dif. (%)	- Si	+Si	Dif. (%)
H	34.8 aA	21.6 aB	38,0	337.7 aA	226.2 aB	33,0	730.9 aA	620.7 aB	15,1
Q	31.5 aA	25.1 aB	20,3	95.4 bA	79.3 bB	16,9	327.6 bA	230.8 bB	29,5
Dif. (%)	9,39	14,24		71,8	64,9		55,2	62,8	
- F	63.5 aA	45.3 aB	28,7	385.2 aA	279.5 aB	27,4	860.8 aA	725.4 aB	15,7
+ F	2.8 bA	1.4 bA	50,71	47.9 bA	25.9 bB	45,8	197.7 bA	126.0 bB	36,3
Dif. (%)	95,6	96,9		87,6	90,7		77,0	82,6	
	- F	+F		- F	+F		- F	+F	
H	54.5 aA	1.9 aB	96,6	530.2 aA	33.7 aB	93,6	1135.8 aA	215.8 aB	81,0
Q	54.4 aA	2.3 aB	95,8	134.5 bA	40.2 aB	70,1	450.4 bA	107.9 bB	76,0
Dif. (%)	0,25	19,48		74,6	16,18		60,3	50,0	
Cv (%)	14.09			8.45			3.73		

Médias seguidas pela mesma letra em cada folha, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste  $t$  ( $p \leq 0,05$ ).  $n=4$ .

1 – Diferença em porcentagem entre médias dos tratamentos nas linhas e ou nas colunas para cada variável.

Na comparação das plantas que foram tratadas ou não com fungicida na ausência e presença de Si foi observada redução significativa da AACPD pela aplicação de fungicida em 95,6, 87,6 e 77,0%, respectivamente nas folhas bandeira,

bandeira-1 e bandeira-2 na ausência de Si e em 96,9, 90,7 e 82,6%, respectivamente nas folhas bandeira, bandeira-1 e bandeira-2 na presença de Si (tab.2). Nas plantas não tratadas com fungicida o Si reduziu a AACPD em 28,7, 27,4 e 15,7%, respectivamente nas folhas bandeira, bandeira-1 e bandeira-2. Já na presença de fungicida, diferença significativa entre plantas -Si e +Si foi observada nas folhas bandeira-1 e bandeira-2, com redução de 45,8 e 36,3%, respectivamente nas plantas +Si (tab.2). Na comparação da aplicação de fungicida e cultivares, não houve diferença significativa entre cultivares para AACPD na folha bandeira independente da aplicação de fungicida, e na bandeira-1 na presença de fungicida. Contudo, na ausência de fungicida a AACPD foi 74,6 e 60,3%, respectivamente menor na folha bandeira-1 e bandeira-2 para Quartzo em comparação a Horizonte. Na presença de fungicida a AACPD foi 50,0% menor na folha bandeira-2 para Quartzo em comparação a Horizonte (tab.2). A aplicação de fungicida reduziu significativamente a AACPD independentemente da folha considerada em até 96,6% na cultivar Horizonte e até 95,8% na cultivar Quartzo (tab.2).

Na safra 2014 foi observado maior AACPD, contudo as tendências observadas na safra 2013 mantiveram-se em 2014 (tab.3). Um fato interessante na safra 2014 foi que o efeito do Si foi menos pronunciado que na safra 2013, independente da cultivar ou da aplicação de fungicida (tab.3).

Para severidade final foi observada interação significativa entre os fatores estudados. Na comparação entre cultivares na ausência ou presença de Si na safra 2013 foi observada redução significativa na severidade final da mancha amarela na folha bandeira da cultivar Quartzo em 88,6 e 94,2%, respectivamente sem e com a suplementação de Si, quando comparado com Fundacep Horizonte (tab.4). Nas folhas bandeira-1 e bandeira-2, respectivamente, houve redução na severidade da mancha amarela na cultivar Quartzo, em comparação com Fundacep Horizonte, de 73,2 e 70,8% nas plantas sem Si e de 58,6 e 80,1% nas plantas com Si (tab.4).

A suplementação de Si para as plantas de trigo reduziu significativamente a severidade da mancha amarela em 57,6, 44,7 e 6,4%, respectivamente nas folhas bandeira, bandeira-1 e bandeira-2 da cultivar Fundacep Horizonte, e em 16,7 e 36,2%, respectivamente nas folhas bandeira e bandeira-2 da cultivar Quartzo (tab.4).

Tabela 3. Área abaixo da curva de progresso da mancha amarela (AACPD) nas folhas bandeira, bandeira-1 e bandeira-2 de plantas de trigo das cultivares Fundacep Horizonte (H) e Quartzo (Q) não supridas (-Si) ou supridas com silício (+Si) e não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) cultivadas no ano de 2014. Pelotas, RS/ UFPel, 2015.

	Bandeira		Dif <sup>1</sup> . (%)	Bandeira -1		Dif. (%)	Bandeira -2		Dif. (%)
	- Si	+Si		- Si	+Si		- Si	+Si	
H	430.8 aA	322.9 aB	25,0	723.4 aA	621.2 aB	14,1	1140.1 aA	947.1 aB	16,9
Q	428.7 aA	284.3 bB	33,7	700.4 aA	573.9 bB	18,1	1076.6 bA	868.4 bB	19,3
Dif.. (%)	0,5	11,9		3,1	7,6		5,6	8,3	
- F	624.7 aA	471.1 aB	24,6	901.9 aA	792.3 aB	12,1	1432.8 aA	1184.7 aB	17,3
+ F	234.9 bA	136.1 bB	42,1	521.9 bA	402.7 bB	22,8	783.9 bA	630.8 bB	19,5
Dif. (%)	62,4	71,1		42,13	49,16		45,3	46,7	
	- F	+F		- F	+F		- F	+F	
H	541.9 aA	211.7 aB	60,9	851.6 aA	492.9 aB	42,1	1337.4 aA	749.8 aB	43,9
Q	553.9 aA	159.2 bB	71,2	842.6 aA	431.7 bB	48,8	1280.1 bA	664.9 bB	48,0
Dif. (%)	2,1	24,8		1,0	12,4		4,3	11,3	
Cv (%)	6.59			3.77			3.89		

Médias seguidas pela mesma letra em cada folha, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste  $t$  ( $p \leq 0,05$ ).  $n=4$ .

1 – Diferença em porcentagem entre médias dos tratamentos nas linhas e ou nas colunas para cada variável.

Na comparação das plantas que foram tratadas ou não com fungicida na ausência de Si, foi observada redução significativa da severidade final correspondendo ao efeito do fungicida em 99,9, 98,9 e 97,4%, respectivamente nas folhas bandeira, bandeira-1 e bandeira-2, e na presença de Si e em 99,4, 98,9 e 98,9%, respectivamente nas folhas bandeira, bandeira-1 e bandeira-2 (tab.4). Nas plantas não tratadas com fungicida, o Si reduziu a severidade final em 21,3, 38,3 e 11,8%, respectivamente nas folhas bandeira, bandeira-1 e bandeira-2. Já na presença de fungicida a diferença entre plantas -Si e +Si não foi significativa (tab.4).

Tabela 4. Severidade da mancha amarela na bandeira, bandeira -1 e bandeira -2 aos 91 dias após a emergência das plantas de trigo das cultivares Fundacep Horizonte (H) e Quartzo (Q) não supridas (-Si) ou supridas com silício (+Si) e não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) cultivadas no ano de 2013. Pelotas, RS/ UFPel, 2015.

	Bandeira			Bandeira -1			Bandeira -2		
	- Si	+Si	Dif <sup>1</sup> . (%)	- Si	+Si	Dif. (%)	- Si	+Si	Dif. (%)
H	0.257 bA	0.109 bB	57,6	16.3 aA	9.0 aB	44,7	47.7 aA	44.7 aB	6,4
Q	2.244 aA	1.870 aB	16,7	4.4 bA	3.7 bA	14,6	13.9 bA	8.9 bB	36,2
Dif. (%)	88,6	94,2		73,2	58,6		70,8	80,1	
<hr/>									
- F	2.499 aA	1.967 aB	21,3	20.5 aA	12.6 aB	38,3	60.2 aA	53.0 aB	11,8
+ F	0.002 bA	0.012 bA	83,3	0.2 bA	0.1 bA	33,3	1.5 bA	0.6 bA	63,2
Dif. (%)	99,9	99,4		98,9	98,9		97,4	98,9	
<hr/>									
	- F	+F		- F	+F		- F	+F	
H	0.363 bA	0.002 aB	99,4	25.2 aA	0.1 aB	99,4	91.8 aA	0.7 aB	99,2
Q	4.103 aA	0.012 aB	99,7	7.9 bA	0.2 aB	97,6	21.4 bA	1.4 aB	93,5
Dif. (%)	91,2	83,3		68,5	21,0		76,6	46,8	
Cv (%)	10.86			25,28			6,29		

Médias seguidas pela mesma letra em cada folha, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste  $t$  ( $p \leq 0,05$ ).  $n=4$ .

1 – Diferença em porcentagem entre médias dos tratamentos nas linhas e ou nas colunas para cada variável.

Na comparação da aplicação de fungicida e cultivares, foi observada redução de 91,2% na severidade final na folha bandeira da cultivar Quartzo, em comparação a Fundacep Horizonte, na ausência de fungicida. Por outro lado, a cultivar Quartzo quando não recebeu fungicida apresentou severidade final significativamente menor em 68,5 e 76,6%, respectivamente na folha bandeira-1 e bandeira-2, quando comparado com Fundacep Horizonte. Na presença de fungicida não houve diferença significativa entre as cultivares (tab.4). Quando comparada a eficiência da aplicação de fungicida para cada cultivar foi observada uma redução na severidade proporcionada pela aplicação de fungicida a cultivar Fundacep Horizonte

em 99,4, 99,4 e 99,2%, respectivamente para bandeira, bandeira-1 e bandeira-2, e na cultivar Quartzo em 99,7, 97,6 e 93,5, respectivamente para bandeira, bandeira-1 e bandeira-2.

Na safra 2014 foram observados valores maiores de severidade final, contudo as tendências observadas na safra 2013 mantiveram-se em 2014 (tab.5). Semelhantemente ao observado para a AACPD, na safra 2014 o efeito do Si foi menos pronunciado que na safra 2013, independente da cultivar ou da aplicação de fungicida (tab.5).

Tabela 5. Severidade da mancha amarela na bandeira, bandeira -1 e bandeira -2 aos 91 dias após a emergência das plantas de trigo das cultivares Fundacep Horizonte (H) e Quartzo (Q) não supridas (-Si) ou supridas com silício (+Si) e não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) cultivadas no ano de 2014. Pelotas, RS/ UFPel, 2015.

	Bandeira			Bandeira -1			Bandeira -2		
	- Si	+Si	Dif <sup>1</sup> . (%)	- Si	+Si	Dif. (%)	- Si	+Si	Dif. (%)
H	23.2 bA	16.7 aB	27,9	36.0 aA	29.4 aB	18,4	63.1 aA	52.5 aB	16,8
Q	26.9 aA	16.0 aB	40,4	37.4 aA	27.2 aB	27,1	56.2 bA	44.6 bB	20,7
Dif. (%)	13,5	4,5		3,7	7,2		10,9	15,0	
<hr/>									
	- F	+F		- F	+F		- F	+F	
	36.6 aA	26.7 aB	26,9	47.9 aA	38.2 aB	20,1	80.6 aA	68.1 aB	15,5
	+ F			25.5 bA	18.4 bB	28,0	38.7 bA	29.0 bB	25,2
Dif. (%)	63,1	77,6		46,7	52,0		51,9	57,4	
<hr/>									
	- F	+F		- F	+F		- F	+F	
H	29.0 bA	11.0 aB	62,1	42.2 aA	23.1 aB	45,3	77.5 aA	38.1 aB	50,8
Q	34.4 aA	8.5 aB	75,3	43.9 aA	20.7 aB	52,7	71.2 bA	29.6 bB	58,4
Dif. (%)	15,6	22,7		3,7	10,2		8,1	22,3	
Cv (%)	11.98			9,64			7.85		

Médias seguidas pela mesma letra em cada folha, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste  $t$  ( $p \leq 0,05$ ).  $n=4$ .

1 – Diferença em porcentagem entre médias dos tratamentos nas linhas e ou nas colunas para cada variável.

Para produtividade de grãos foi observada interação significativa entre os fatores estudados. Na comparação das cultivares na presença ou ausência de Si na safra 2013, a Fundacep Horizonte produziu significativamente mais 20,7 e 22,1%,

respectivamente sem e com suplementação de Si, quando comparado com a cultivar Quartzo (tab.6). A suplementação de Si para as plantas de trigo não resultou em diferença significativa para produtividade, independente da cultivar ou da aplicação ou não de fungicida (tab.6). Na comparação das plantas que foram tratadas ou não com fungicida na ausência e presença de Si foi observado aumento significativo da produtividade pela aplicação de fungicida em 41,0 e 37,7%, respectivamente na ausência e presença de Si (tab. 6).

Tabela 6. Produtividade de grãos em quilogramas por hectare (Produtividade Kg/ha<sup>-1</sup>), peso do hectolitro (PH) e porcentagem (%) de grão chocho (GC) das cultivares Fundacep Horizonte (H) e Quartzo (Q) não supridas (-Si) ou supridas com silício (+Si) e não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) cultivadas no ano de 2013. Pelotas, RS/ UFPel, 2015.

	Produtividade (Kg/ha <sup>-1</sup> )			PH			GC (%)		
	- Si	+Si	Dif <sup>1</sup> . (%)	- Si	+Si	Dif. (%)	- Si	+Si	Dif. (%)
H	2611 aA	2704 aA	3,4	82.4 aA	81.9 aA	0,6	12.4 bA	12.3 bA	1,0
Q	2071 bA	2106 bA	1,7	75.8 bA	76.2 bA	0,6	23.6 aA	20.4 aA	13,5
Dif. (%)	20,7	22,1		8,1	7,0		47,3	39,7	
- F	1737 bA	1847 bA	5,9	75.8 bA	76.1 bA	0,36	26.5 aA	24.8 aA	6,37
+ F	2944 aA	2963 aA	0,6	82.4 aA	82.0 aA	0,37	9.5 bA	7.9 bA	17,10
Dif. (%)	41,0	37,7		7,9	7,3		64,0	68,1	
	- F	+F		- F	+F		- F	+F	
H	2475 aB	2841 aA	12,9	81.1 aB	83.2 aA	2,5	14.1 bA	10.6 aA	25,1
Q	1109 bB	3067 aA	63,8	70.7 bB	81.2 bA	12,8	37.1 aA	6.8 aB	81,6
Dif. (%)	55,2	7,4		12,8	2,4		61,9	35,4	
Cv (%)	16,25			0.95			23,45		

Médias seguidas pela mesma letra em cada variável, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste  $t$  ( $p \leq 0,05$ ).  $n=4$ .

1 – Diferença em porcentagem entre médias dos tratamentos nas linhas e ou nas colunas para cada variável.

Na comparação da aplicação de fungicida e cultivares, houve diferença significativa entre cultivares. A produtividade foi significativamente menor para Quartzo em comparação com Fundacep Horizonte em 55,2%, apenas quando as plantas não receberam aplicação de fungicidas. Considerando a aplicação de

fungicida, a produtividade foi maior em 12,9 e 63,8%, respectivamente para Fundacep Horizonte e Quartzo quando receberam aplicação foliar de fungicida (tab. 6).

Na safra 2014 foram observados valores menores de produção, contudo as tendências observadas na safra 2013 mantiveram-se em 2014 (tab. 7).

Para PH foi observada interação significativa entre os fatores estudados. Na comparação das cultivares na presença ou ausência de Si na safra 2013, foi observada diferença significativa para PH (tab. 6). A cultivar Quartzo apresentou PH significativamente menor em 8,1 e 7,0%, respectivamente sem e com suplementação de Si, quando comparada com a cultivar Fundacep Horizonte (tab. 6). A suplementação de Si nas plantas de trigo não resultou em diferença significativa no PH, independente da cultivar ou da aplicação de fungicida (tab. 6). Na comparação das plantas que foram tratadas ou não com fungicida na ausência e presença de Si, foi observado aumento significativo do PH pela aplicação de fungicida em 7,9 e 7,3%, respectivamente na ausência e presença de Si (tab. 6). Na comparação da aplicação de fungicida e cultivares, houve diferença significativa entre cultivares. O PH foi significativamente menor para Quartzo em comparação com Fundacep Horizonte em 12,8 e 2,4%, respectivamente sem e com aplicação de fungicida. A aplicação de fungicida foi significativa na comparação com as cultivares. O PH foi maior em 2,5 e 12,8%, respectivamente para Fundacep Horizonte e Quartzo quando tratadas com fungicida (tab. 6). Na safra 2014 foram observados valores menores de PH, contudo as tendências observadas na safra 2013 mantiveram-se em 2014 (tab. 7)

Para a porcentagem de grão chocho foi observada interação significativa entre os fatores estudados. Na comparação das cultivares na presença ou ausência de Si na safra 2013, foi observada diferença significativa para porcentagem de grão chocho, sendo maior na cultivar Quartzo em 47,3 e 39,7%, respectivamente sem e com suplementação de Si, quando comparado com a cultivar Fundacep Horizonte (tab. 6). A suplementação de Si não resultou em diferença significativa na porcentagem de grãos chochos, independente da cultivar ou da aplicação de fungicida (tab. 6). Na comparação das plantas que foram tratadas ou não com fungicida na ausência e presença de Si foi observada redução significativa da

porcentagem de grão chocho pela aplicação de fungicida em 64,0 e 68,1%, respectivamente na ausência e presença de Si (tab. 6). Na comparação da aplicação de fungicida e cultivares, a porcentagem de grão chocho foi significativamente maior para Quartzo em 61,9% em comparação com Fundacep Horizonte, apenas quando as plantas não receberam aplicação de fungicidas. A aplicação de fungicida reduziu a porcentagem de grão chocho em 81,6%, apenas para a cultivar Quartzo, quando comparado as plantas sem a aplicação (Fig. 6).

Na safra 2014 foram observados valores menores de porcentagem de grãos chochos, contudo as tendências observadas na safra 2013 mantiveram-se em 2014 (tab. 7).

Tabela 7. Produtividade de grãos em quilogramas por hectare (Produtividade Kg ha<sup>-1</sup>), peso do hectolitro (PH) e porcentagem (%) de grão chocho (GC) das cultivares Fundacep Horizonte (H) e Quartzo (Q) não supridas (-Si) ou supridas com silício (+Si) e não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) cultivadas no ano de 2014. Pelotas, RS/ UFPel, 2015.

	Produtividade (Kg ha <sup>-1</sup> )		Dif <sup>1</sup> . (%)	PH		Dif. (%)	GC (%)		Dif. (%)
	- Si	+Si		- Si	+Si		- Si	+Si	
H	983 aA	1007 aA	2,3	65.3 aA	65.4 aA	0,1	78.2 aA	76.0 aA	2,9
Q	570 bA	628 bA	9,2	59.8 bA	61.2 bA	2,3	78.1 aA	74.2 aA	4,9
Dif. (%)	42,0	37,6		8,5	6,5		0,2	2,3	
- F	491 bA	543 bA	9,6	58.5 bA	59.5 bA	1,7	86.6 aA	84.5 aA	2,4
+ F	1062 aA	1091 aA	2,6	66.6 aA	67.1 aA	0,7	69.7 bA	65.7 bA	5,7
Dif. (%)	53,8	50,2		12,2	11,2		19,5	22,2	
	- F	+F		- F	+F		- F	+F	
H	772 aB	1217 aA	36,5	62.6 aB	68.2 aA	8,3	83.7 aA	70.5 aB	15,8
Q	262 bB	936 bA	72,0	55.5 bB	65.5 bA	15,3	87.4 aA	65.0 bB	25,6
Dif. (%)	66,0	23,1		11,3	4,0		4,1	7,8	
Cv (%)	23,32			3,30			5,99		

Médias seguidas pela mesma letra em cada variável, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste *t* ( $p \leq 0,05$ ).  $n=4$ .

1 – Diferença em porcentagem entre médias dos tratamentos nas linhas e ou nas colunas para cada variável.

Para a concentração foliar de Si foi observada interação significativa entre os fatores estudados. Na comparação entre as cultivares na presença ou ausência de Si na safra 2013, não foi observada diferença significativa para concentração foliar de Si (tab. 8). Por outro lado, a concentração foliar de Si nas plantas da cultivar Quartzo foi 20,2% maior nas plantas supridas comparado as plantas não supridas. Na comparação das plantas que foram tratadas ou não com fungicida na ausência e presença de Si foi observado incremento significativo de 22,6% na concentração foliar de Si nas plantas receberam suplementação com Si, em comparação as plantas não supridas, ambas tratadas com fungicida (tab. 8). A aplicação de fungicida não resultou em diferença significativa na concentração foliar de Si. Na comparação da aplicação de fungicida e cultivares, não houve diferença significativa na concentração foliar de Si independentemente da cultivar ou da aplicação de fungicida (tab. 8). Na safra 2014 foram observados valores de concentração foliar de Si semelhantes aos observados na safra 2013, contudo houve diferença significativa na concentração foliar de Si, onde os tratamentos supridos com Si apresentaram valores significativamente maiores tanto na interação com cultivares quanto na interação com fungicidas (tab. 9).

Para peso de mil sementes (PMS) foi observada interação significativa entre os fatores estudados. Na comparação das cultivares na presença ou ausência de Si na safra 2013, foi observada diferença significativa para PMS, onde a cultivar Quartzo apresentou PMS significativamente menor em 7,1% apenas nas plantas que não receberam suplementação de Si, quando comparado com a cultivar Fundacep Horizonte (tab. 8). A suplementação de Si nas plantas de trigo não resultou em diferença significativa na comparação entre cultivares (tab. 8). Na comparação das plantas que foram tratadas ou não com fungicida na ausência e presença de Si foi observado aumento significativo no PMS pela aplicação de fungicida em 22,6 e 25,9%, respectivamente na ausência e presença de Si (tab. 8). A suplementação com Si em plantas de trigo resultou em diferença significativa de 6,2% apenas nas plantas que receberam aplicação de fungicida (tab. 8). Na comparação da aplicação de fungicida e cultivares, o PMS foi significativamente menor em 23,4% na cultivar Quartzo em comparação com Fundacep Horizonte, quando as plantas não receberam aplicação de fungicidas. Na presença de fungicida, o PMS foi

significativamente maior em 10,1% na cultivar Quartzo comparado a Fundacep Horizonte. A aplicação de fungicidas foi significativa na comparação com as cultivares, incrementando o PMS em 9,5 e 37,7%, respectivamente para Fundacep Horizonte e Quartzo, comparado às plantas não tratadas com fungicida (tab. 8). Na safra 2014 foi observado menor PMS, contudo as tendências observadas na safra 2013 mantiveram-se em 2014 (tab. 9).

Tabela 8. Concentração foliar de silício (Si) em porcentagem (%) da matéria seca, peso de mil sementes (PMS) e incidência de *D. tritici repentis* em sementes de trigo no teste de patologia de sementes (PS) para as cultivares Fundacep Horizonte (H) e Quartzo (Q) não supridas (-Si) ou supridas com silício (+Si) e não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) cultivadas no ano de 2013. Pelotas, RS/ UFPel, 2015.

	Si (%)			PMS			PS		
	- Si	+Si	Dif <sup>1</sup> . (%)	- Si	+Si	Dif. (%)	- Si	+Si	Dif. (%)
H	1.8 aA	2.1 aA	15,8	29.7 aA	30.5 aA	2,6	12.0 aA	8.1 aB	32,3
Q	1.9 aB	2.4 aA	20,2	27.6 bA	29.4 aA	6,3	8.0 bA	5.0 bB	37,5
Dif. (%)	6,7	11,5		7,1	3,4		33,3	38,4	
- F	2.1 aA	2.4 aA	14,1	25.0 bA	25.5 bA	2,0	14.5 aA	9.7 aB	32,7
+ F	1.7 aB	2.2 aA	22,6	32.3 aB	34.5 aA	6,2	5.5 bA	3.4 bA	38,7
Dif. (%)	18,8	9,9		22,6	25,9		62,1	65,4	
	- F	+F		- F	+F		- F	+F	
H	2.1 aA	1.8 aA	13,7	28.6 aB	31.6 bA	9,5	14.0 aA	6.1 aB	56,3
Q	2.4 aA	2.0 aA	14,8	21.9 bB	35.2 aA	37,7	10.2 bA	2.7 bB	73,2
Dif. (%)	10,2	8,9		23,4	10,1		26,8	55,1	
Cv (%)	19,43			6,62			26.92		

Médias seguidas pela mesma letra em cada variável, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste *t* ( $p \leq 0,05$ ).  $n=4$ .

1 – Diferença em porcentagem entre médias dos tratamentos nas linhas e ou nas colunas para cada variável.

Para patologia de sementes (PS) não foi observada interação significativa entre os fatores estudados, porem os resultados encontrados para os fatores foram significativos. A cultivar quartzo apresentou incidência significativamente menor em 33,3 e 38,4%, respectivamente sem e com suplementação de Si, quando comparada

com a cultivar Fundacep Horizonte (tab. 8). A suplementação de Si nas plantas de trigo reduziu a incidência do patógeno em 32,3 e 37,5%, respectivamente para Fundacep Horizonte e Quartzo (tab. 8).

Tabela 9. Concentração foliar de silício (Si) em porcentagem (%) da matéria seca, e peso de mil sementes (PMS) para as cultivares Fundacep Horizonte (H) e Quartzo (Q) não supridas (-Si) ou supridas com silício (+Si) e não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) cultivadas no ano de 2014. Pelotas, RS/ UFPel, 2015.

	Si (%)		Dif <sup>1</sup> (%)	PMS		Dif. (%)
	- Si	+Si		- Si	+Si	
H	1.3 bB	1.8 aA	27,78	19.5 aA	19.6 aA	0,61
Q	1.6 aB	2.0 aA	20,00	21.1 aA	21.1 aA	0
Dif. (%)	18,75	10,00		7,67	7,10	
- F	1.6 aB	2,0 aA	20,00	16.0 bA	16.5 bA	3,03
+ F	1.3 bB	1.8 aA	27,78	24.6 aA	24.2 aA	1,50
Dif. (%)	18,75	10,00		35,01	31,95	
	- F	+F		- F	+F	
H	1.6 bA	1.5 aA	6,25	15.5 aB	23.6 aA	34,37
Q	2,0 aA	1.6 aB	20,00	17.0 aB	25.2 aA	32,67
Dif. (%)	20,00	6,25		8,82	6,45	
Cv (%)	12.24			12.28		

Médias seguidas pela mesma letra em cada variável, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste  $t$  ( $p \leq 0,05$ ).  $n=4$ .

1 – Diferença em porcentagem entre médias dos tratamentos nas linhas e ou nas colunas para cada variável.

Na comparação das plantas que foram tratadas ou não com fungicida na ausência e presença de Si, foi observada redução significativa da incidência pela aplicação de fungicida em 62,1 e 65,4%, respectivamente na ausência e presença de Si, em comparação as plantas não tratadas (tab. 8). A suplementação de Si nas plantas de trigo que não receberam aplicação de fungicida reduziu significativamente a incidência em 32,7%, em comparação às plantas não supridas. Na comparação da aplicação de fungicida e cultivares, houve diferença significativa entre cultivares. A incidência foi significativamente menor para Quartzo, comparada com a Fundacep

Horizonte, em 26,8 e 55,1%, respectivamente sem e com aplicação de fungicida. A aplicação de fungicida foi significativa na comparação com as cultivares, sendo a incidência menor em 56,3 e 73,2%, respectivamente para Fundacep Horizonte e Quartzo, quando receberam aplicação de fungicida (tab. 8). Na safra 2014 não foram realizados testes de patologia de sementes.

#### **2.4. Discussão**

A utilização de Si no controle de doenças de plantas já foi comprovada por diversos estudos, com diferentes espécies vegetais e diferentes patógenos (DATNOFF et al., 2007). Para o trigo, a eficiência da fertilização silicatada já foi comprovada para o controle de brusone (XAVIER FILHA et al., 2011), mancha marrom (DOMICIANO et al., 2010) e oídio (BÉLANGER et al., 2003). Porém para mancha amarela, a mais importante mancha foliar entre as doenças foliares do trigo no Brasil, esse estudo reporta pela primeira vez sua redução em função da aplicação de Si em condições de campo.

A suplementação de Si no solo propiciou acúmulo do elemento nas folhas das plantas de trigo. Os experimentos foram realizados na mesma área em 2013 e 2014 e apresentaram valores semelhantes em relação ao acúmulo Si no tecido foliar. A aplicação de fungicida, de um modo geral, não resultou em diferença para a concentração foliar de Si, porém as maiores concentrações nas plantas tratadas com fungicida pode ser resultado de este manter as folhas saudas por maior período tempo o que proporcionou um maior período de acúmulo de Si pelas plantas, uma vez que o Si segue o fluxo de massa do xilema (MA et al., 2011). Por outro lado, as maiores concentrações de Si foram observadas na cultivar Quartzo, especialmente quando cultivada em solo suprido com o elemento, indicando que há diferença significativa entre os genótipos de trigo quanto à habilidade de acumular Si. Essa diferença na habilidade de acumular Si entre genótipos de uma mesma espécie vegetal já foi observada para a soja (ARSENAULT-LABRECQUE, et al., 2012) e arroz (SEEBOLD, et al., 2001).

Os resultados para a AACPD apontam a eficiência da utilização do Si em retardar o progresso da doença, sendo que na maioria dos casos, os resultados mais expressivos foram obtidos na folha bandeira. Este resultado pode estar

relacionado com a menor pressão da doença nesta folha, fato que pode estar relacionado com condições climáticas menos favoráveis para o desenvolvimento de doenças ou pelo fato da diferença na idade fisiológica, quando comparada com folhas mais baixas. O efeito dos genótipos sobre a AACPD apresentou-se com menor expressividade quando comparado com o efeito do Si, porém em algumas situações houve diferença, o que mostra que a resistência genética da cultivar Quartzo teve influência sobre a AACPD. Diferenças genéticas que culminam na redução diferenciada a AACPD para a mancha amarela também foi reportada em outro estudo (KUHNE JUNIOR et al., 2009). A aplicação de fungicidas reduziu a AACPD, sendo que sua maior redução ocorreu na folha bandeira, possivelmente por estar posicionada em um local da planta menos favorável ao desenvolvimento da doença e por receber uma melhor cobertura com a calda de pulverização. Resultados semelhantes foram reportados em outro estudo avaliando a aplicação de fungicidas no controle da mancha amarela do trigo (BHATHAL; LOUGHMAN; SPEIJERS, 2003).

Semelhantemente ao observado para a AACPD, a aplicação de Si teve influência na severidade final da mancha amarela. O efeito do Si reduziu a severidade final em ambas as cultivares nas três folhas avaliadas, sendo a maior redução observada na folha bandeira. Belanger; Benhamou e Menzies, (2003) quando testou a eficiência do Si no controle do oídio do trigo também observou que os melhores resultados foram obtidos na folha bandeira e os piores na folha bandeira-2. Na interação com fungicida, o efeito do Si não foi tão visível nos tratamentos que receberam fungicidas, uma vez que este reduziu substancialmente a severidade da mancha amarela, desta forma mitigando o efeito proporcionado pelo Si. A aplicação de fungicida teve efeito positivo tanto na combinação com Si quanto na combinação com as cultivares, evidenciando assim a importância complementar desta medida para a redução da severidade final da doença. Resultados do estudo de Tormen, et al., (2013) também mostraram que a combinação de cultivares com resistência moderada associada a fungicidas apresentaram os resultados mais satisfatórios no controle da mancha amarela do trigo.

Quanto ao rendimento de grãos, mesmo sendo observada redução na intensidade da mancha amarela na folha, não houve efeito significativo da aplicação

de Si na produtividade, peso de mil sementes e na porcentagem de grão chocho. Apenas na cultivar Fundacep Horizonte houve acréscimo no peso de mil sementes quando associado à aplicação de fungicida e Si, indicando que a redução da intensidade da doença resultou em maior acúmulo de matéria nos grãos. Este resultado mostra que a utilização do Si combinada com outras medidas de controle, como fungicidas, foi eficiente para o incremento no peso de mil sementes. Por outro lado, a aplicação de Si reduziu a incidência do patógeno na semente, fato que pode estar associado à maior concentração de Si nas espigas e/ou a menor potencial de inoculo próximo à espiga, a partir da redução da severidade da doença na folha. Já quando associado o Si com a aplicação de fungicida, o efeito do Si foi mitigado, possivelmente devido ao fato da aplicação do fungicida ter prevenido a infecção do patógeno na semente, como já demonstrado em outro estudo por Da Luz (2003). A redução da intensidade da doença na folha pela aplicação do fungicida resultou em incremento na produtividade, peso de mil sementes, PH e redução na porcentagem de grão chocho, além de reduzir a incidência do patógeno na semente. Incremento na produtividade e no peso de mil sementes de trigo pelo controle da doença com fungicida já havia sido reportado previamente (KUHNE JUNIOR et al., 2009; CORREA et al., 2013).

Assim, tomados em conjuntos os resultados deste estudo indicam que mesmo não sendo observado incremento significativo no rendimento de grãos, o Si pode ser inserido no manejo integrado da mancha amarela pela sua contribuição na redução da intensidade da doença nas folhas e nos grãos, fato que quando associado a outras medidas de controle incrementa a produtividade, qualidade e sanidade da semente.

## **2.5. Conclusões**

O Si contribui para redução da severidade da mancha amarela do trigo na folha.

O Si isolado não teve efeito na produtividade e qualidade do trigo.

O Si é eficiente na redução da doença e pode ser inserido no manejo integrado da mancha amarela do trigo.

A aplicação de Si via solo reduziu a incidência do patógeno em sementes de trigo.

### **3. CAPITULO II – Influencia do Si nos componentes de resistência do trigo contra mancha amarela**

#### **3.1. Introdução**

A mancha amarela causada por *Pyrenophora tritici-repentis* Died. (anamorfo *Drehslera tritici-repentis* Died.) é a principal mancha foliar da cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.). Os danos causados na produção de grãos podem chegar até 48% (REES; PLATZ, 1983), que ocorrem principalmente pela redução do número de grãos por espiga e pelo peso dos mesmos (RONIS *et al.*, 2009). O patógeno pode infectar as plantas de trigo em qualquer estágio fenológico, contudo a fase de maior predisposição ocorre em folhas mais velhas (REES; PLATZ, 1980; CARMONA; FERRAZINI; BARRETO, 2006; REIS; CASA, 2007). A fonte inicial de inóculo de *D. tritici-repentis* pode ser restos culturais contaminados (REES; PLATZ, 1980) e/ou sementes infectadas ou contaminadas (CARMONA; FERRAZINI; BARRETO, 2006). Quando a disseminação ocorre por via de sementes contaminadas pode haver transmissão para a plântula, com possibilidade de visualizar os sintomas em folhas e bainhas logo após a emergência (REIS; CASA, 1996; CARMONA; FERRAZINI; BARRETO, 2006).

Os sintomas nas folhas são pequenas manchas cloróticas que evoluem para lesões elípticas de até 12 mm (REIS; CASA, 1996). As lesões caracterizam-se por apresentarem a região central necrosada de cor parda, com bordas cloróticas, sendo a intensidade da clorose dependente da raça do patógeno, do genótipo do hospedeiro e do ambiente (ANDRIE; PANDELOVA; CIUFFETTI, 2007; ANDRIE, *et al.*, 2008). Atualmente são reconhecidas oito raças do patógeno que se diferenciam pelas toxinas produzidas (ANDRIE; PANDELOVA; CIUFFETTI, 2007;

ABOUKHADDOUR, et al., 2009), sendo reportadas no Brasil as raças 1 e 2 (GAMBA; STRELKOV; LAMARI, 2012).

A elevada variabilidade do patógeno dificulta o emprego de cultivares com resistência completa para o controle da mancha amarela (REIS; CASA, 1996). Desta forma, para incrementar a resistência parcial de genótipos de trigo contra a *D. tritici-repentis*, faz-se necessário a incorporação de múltiplos genes, para que realmente o controle da doença seja efetivo (TADESSE, et al., 2011). Embora esta seja uma das medidas de controle mais eficientes e ecologicamente correta, o uso de cultivares com resistência completa para controle da mancha amarela do trigo não se encontra disponível para os produtores. Atualmente as medidas de manejo para mancha amarela limitam-se a utilização de sementes saudáveis, rotação de culturas e eliminação de restos culturais para redução do inóculo inicial, além da utilização de cultivares com resistência moderada complementada com aplicação e fungicida para redução da taxa de progresso da doença (BANKINA, et al., 2014; BOCKUS; CLAASSEN, 1992; CARMONA; FERRAZINI; BARRETO, 2006; FORCELINI, 2005).

Dentre as medidas de controle, o uso de fungicidas é o que tem apresentado resultados mais satisfatórios (BANKINA, et al., 2014). Entretanto, quando o uso do controle químico é realizado de forma pouco fundamentada, como aplicação sob elevada pressão de doença ou aplicações de sub-dose e aplicações preventivas desnecessárias, contribui para aumentar o custo de produção, impacto ambiental e até auxilia para seleção de população com menor sensibilidade aos ingredientes ativos (BANKINA, et al., 2014; PATEL, et al., 2011; PATEL, et al., 2012)

A utilização de indutores de resistência apresenta-se como uma alternativa para a redução do impacto causado pela aplicação de fungicidas. Os indutores, aliados ao manejo integrado, proporcionam resultados satisfatórios no controle de doenças de plantas. O silício (Si) é um elemento mineral que quando absorvido pela planta aumenta sua capacidade de defesa, resultando na diminuição da intensidade da doença, conforme já relatado em inúmeros patossistemas, tanto em monocotiledôneas quanto em dicotiledôneas (DATNOFF; RODRIGUES; SEEBOLD, 2007). O efeito do Si na redução da intensidade de doenças foliares está associado às modificações nos componentes de resistência das plantas como foi observado em trigo para brusone, mancha marrom e oídio, em arroz para

brusone e mancha parda, em meloeiro para oídio, em sorgo para a antracnose, reduzindo significativamente a severidade final da doença (BELANGER; BENHAMOU; MENZIES, 2003; DALLAGNOL, et al., 2009; DALLAGNOL, et al., 2012; DOMICIANO, et al., 2013; RESENDE, et al., 2013; XAVIER FILHA, et al., 2011).

O efeito do Si na diminuição da intensidade das doenças ocorre devido a alterações em dois mecanismos básicos de defesa das plantas: barreira física e barreira bioquímica (DATNOFF; RODRIGUES; SEEBOLD, 2007). Alterações na barreira física ocorrem pelo acúmulo do Si na cutícula, através da sua polimerização junto à mesma, proporcionando uma maior rigidez contra a penetração direta do patógeno (KIM, et al., 2002). Outro mecanismo que dificulta a penetração do patógeno é a deposição de papilas, que formam uma camada rígida impedindo a penetração do fungo (BELANGER; BENHAMOU; MENZIES, 2003). Além disso, a aplicação de Si também potencializa os mecanismos de defesa bioquímicos, bem como deixa as plantas em estado de *priming*, o que proporciona uma maior rapidez na ativação do sistema de defesa, que culmina numa maior concentração de compostos fenólicos, fitoalexinas, proteínas relacionadas a patogênese nos sítios de infecção do patógeno (RODRIGUES, et al., 2004 e 2005; DALLAGNOL et al., 2009; 2012; 2014; VAN BOCKHAVEN; DE VLEESSCHAUWER; HOFTE, 2013).

O trigo é uma planta que possui capacidade de acumular Si em até 16 g kg<sup>-1</sup> de matéria seca (SOUSA, et al. 2013). Este acúmulo de Si foi associado a redução na severidade do oídio (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*) (BELANGER; BENHAMOU; MENZIES, 2003; GUEVEL; MENZIES; BELANGER, 2007), da brusone (*Pyricularia grisea*) (XAVIER FILHA, et al., 2011), e da mancha marrom (*Bipolaris sorokiniana*) (DOMICIANO, et al., 2010). A redução na severidade dessas doenças foi associada à alteração em componentes de resistência tais como aumento no período de incubação, redução na eficiência de infecção, número de lesões por unidade de área e tamanho de lesão (BELANGER; BENHAMOU; MENZIES, 2003; DOMICIANO, et al., 2010; XAVIER FILHA, et al., 2011). A redução dessas doenças no trigo foi associada ao efeito das alterações estruturais e bioquímicas. Nas respostas de defesa do trigo contra *B. graminis* f. sp. *tritici* foram observadas alterações de defesas estruturais e bioquímicas como a deposição de

papila, produção de calose, além do aumento no acúmulo de compostos fenólicos e fitoalexinas (BELANGER; BENHAMOU; MENZIES, 2003). Contra a brusone e a mancha marrom foram observados alterações na atividade enzimática tais como, peroxidase e quitinase além do aumento nas quantidades de lignina (XAVIER FILHA, et al., 2011; DOMICIANO, et al., 2013).

Os resultados positivos apresentados pela aplicação de Si na redução de algumas doenças importantes do trigo, conforme mencionado acima, e frente à dificuldade atual de manejo da mancha amarela, acredita-se que o Si possa atuar como um importante integrante no manejo integrado desta doença por meio da potencialização das defesas da planta. Diante desse contexto, o objetivo desse estudo foi avaliar o efeito da fertilização silicatada como fonte de Si, sobre alguns componentes monocíclicos da mancha amarela em plantas de trigo suscetíveis e com resistência moderada a doença.

### **3.2. Materiais e métodos**

Os experimentos para avaliar os componentes de resistência do trigo contra mancha amarela foram realizados em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Fitossanidade, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel / Universidade Federal de Pelotas.

#### **3.2.1. Delineamento experimental**

Os experimentos foram realizados com delineamento inteiramente casualizado e analisados em esquema fatorial 2 x 2 com sete repetições. Os fatores estudados foram: fornecimento de Si (com e sem Si) e material vegetal (MV) (cultivares Quartzo e Fundacep Horizonte). O experimento foi repetido duas vezes.

#### **3.2.2. Material vegetal e seu cultivo**

Os experimentos foram realizados com as cultivares Fundacep Horizonte (Cooperativa Central Gaúcha Ltda – CCGL Tec) e Quartzo (OR sementes/Biotrigo Genética), selecionadas com base em informações técnicas, sendo a cultivar Fundacep Horizonte, considerada suscetível, e a Quartzo, considerada

moderadamente resistente a manchas foliares, além de estas apresentarem semelhanças na duração de seu ciclo de desenvolvimento.

As sementes de cada cultivar foram semeadas em vasos com altura de 10 cm e diâmetro de 12 cm contendo 1 kg de solo natural. Após a emergência das plântulas foi realizado desbaste e mantido uma planta por vaso até a fase de emborrachamento [Estádio 10, conforme a escala Feeks-Large (LARGE, 1954)]. As temperaturas médias no interior da casa de vegetação durante o desenvolvimento das plantas variaram entre 10 e 25°C.

### 3.2.3. Características físico-químicas do solo e aplicação dos tratamentos

A aplicação dos tratamentos foi feita com base nos dados da análise química do solo (tab. 10), foram realizadas as correções de fertilidade e calagem para uma produção de 4 ton.ha<sup>-1</sup>, conforme indicado nas recomendações técnicas para a cultura (REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 2013).

Tabela 10. Resultado da análise físico-químicas do solo usado nos experimentos em casa de vegetação. Pelotas, RS/ UFPel, 2015.

Argila	pH	MO	P	K	CA	Mg
g kg <sup>-1</sup>	CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg.dm <sup>-3</sup>		mmolc dm <sup>-3</sup>	
695	4,1	14	12	1,9	5	4
Mn	Al	H + Al	CTC	Saturação por bases	Saturação por alumínio	Si
mg dm <sup>-3</sup>		mmolc dm <sup>-3</sup>		%	%	mg dm <sup>-3</sup>
1,5	17	71	81,7	12	63	6

A fonte de Si utilizada nos experimentos foi o produto comercial Agrosilício (Agronelli Insumos Agrícolas, Uberaba/MG) composto por 25% de cálcio, 6% de magnésio e 10,5% de silício. A dose de Agrosilício foi de 13,92 g kg<sup>-1</sup> de solo, considerada suficiente para aumentar o pH do solo até 6,5. Com a finalidade de isolar o efeito do Si, nos tratamentos que não receberem silicato de cálcio foi aplicado calcário extra fino (Dagoberto Barcelos, Caçapava do Sul/RS) composto por cálcio 26,5% e magnésio 15%, na dose de 10,98 g kg<sup>-1</sup>. Carbonato de cálcio e

carbonato de magnésio foram utilizados para equilibrar as diferenças na concentração de cálcio e magnésio entre os tratamentos. Os corretivos foram incorporados ao solo 30 dias antes da semeadura. Após a homogeneização de cada tratamento, o solo foi posto em sacos plásticos individualizados e adicionado 200 mL de água destilada para que ocorresse a solubilização dos elementos minerais.

#### **3.2.4. Isolado de *Drehslera tritici repentis* e inoculação das plantas**

O isolado LIPP 0113 de *D. tritici repentis*, isolado de plantas de trigo da cultivar BRS Guamirim, utilizado nos experimentos foi gentilmente cedido pelo Prof. Dr. Carlos Alberto Forcelini da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo (UPF). A preservação do fungo foi em meio de cultura do tipo BDA (Batata-Dextrose-Agar). O cultivo do fungo e os procedimentos para indução a esporulação foram realizados conforme descrito em Ranzi (2012). Em resumo, discos de micélio do fungo com aproximadamente 5mm de diâmetro foram transferidos para placas de Petri contendo meio de cultura V8-Ágar [Campbell's V8 vegetable juice (150 mL), Carbonato de cálcio (3g), água destilada (850mL), Ágar (15g)] e em seguida as placas contendo o fungo foram lacradas e incubadas no escuro em câmara BOD a 25°C durante cinco dias. Ao final deste período, as colônias fúngicas foram estressadas por meio da adição de aproximadamente 10 mL de água destilada e esterilizada seguido de uma suave pressão no micélio com a base de um tubo de ensaio esterilizado. O excesso da água foi descartado e as placas contendo as colônias fúngicas estressadas foram incubadas a 25°C com presença contínua de luz (lâmpada fluorescente EMPALUX 36 W), distantes a 40 cm das placas por um período de 24 horas. Em seguida, o fungo foi exposto a temperatura de 15°C no escuro por 24 horas. Ao final desses procedimentos as colônias de *D. tritici-repentis* produziam maior quantidade de esporos maduros e estes foram coletados em água esterilizada. Para tal, em cada placa de petri foi adicionado 10 mL de água e com auxílio de um pincel de cerdas macias os esporos foram removidos. A suspensão resultante foi homogeneizada e a concentração de conídios ajustada para  $5 \times 10^3$  esporos mL<sup>-1</sup>. A fim de aumentar a aderência dos esporos na superfície foliar foi adicionado à suspensão 1% (p/v) de gelatina neutra.

A suspensão de conídios foi aplicada na superfície foliar por meio da pulverização com auxílio de um atomizador do tipo spray manual (Tecblas, REF: 359 – 60 mL).

Para cada planta de trigo foram pulverizados aproximadamente 10 mL de suspensão, ou até essas atingirem o ponto de pré-escorrimento. Imediatamente após a inoculação, as plantas foram transferidas para câmara úmida com umidade relativa do ar próximo de 100%, temperatura de  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  e foto-período de 12 horas. Às 48 horas após a inoculação (hai) as plantas foram retiradas da câmara úmida de temperatura e foto-período mencionados acima até o final das avaliações.

### **3.2.5. Avaliação dos componentes de resistência**

Na folha bandeira do colmo principal de cada planta foram avaliados os seguintes componentes de resistência: período de incubação (PI), eficiência relativa de infecção (ERI), taxa de expansão de lesão ( $r$ ), área abaixo da curva do progresso da expansão de lesão (AACPEL), comprimento final de lesão (CFL), taxa de progresso da doença (TDP), área abaixo da curva do progresso da severidade da mancha amarela (AACPMA) e severidade final (SF).

A determinação do PI foi realizada por meio da avaliação das folhas das plantas a cada 3 hai onde foram observados os primeiros sintomas da doença com auxílio de uma lupa de bolso (aumento de 20 X). Nas avaliações foram observadas regiões com clorose, que foram consideradas como lesões quando estavam associados a clorose a presença de tecidos necrosados.

A ERI foi definida como a razão entre o número de conídios depositados por  $\text{cm}^2$  de área foliar pelo número de lesões formadas por  $\text{cm}^2$  de área foliar. Para tal, no momento da inoculação foram depositadas lamínulas  $2 \times 2$  cm na superfície foliar e 24 horas após a inoculação foi realizada a contagem do número de esporos viáveis em cada lamínula, com auxílio de um microscópio (Olimpus modelo CX 41). Os esporos foram considerados viáveis quando emitiram tubo germinativo com comprimento igual ou superior ao comprimento do esporo. A contagem do número de lesões por  $\text{cm}^2$  foi realizada 48 horas após o PI, por meio de avaliação de um (1)  $\text{cm}^2$  em cinco diferentes pontos da região central de cada folha. Uma lupa de bolso (20X) foi utilizada para auxiliar nas avaliações. A partir destes dados foi calculada a

ERI através da relação entre o número de esporos viáveis depositados e o número de lesões formadas por  $\text{cm}^{-2}$  de superfície foliar.

Para a determinação da taxa de expansão de lesão ( $r$ ), o comprimento de cinco lesões por planta foi mensurado diariamente, a partir de 24 após o PI, com auxílio de um paquímetro digital. Os valores de comprimento de lesão em função do tempo foram plotados para análise de regressão linear, sendo  $r$  a inclinação da reta, conforme metodologia proposta por Jesus Júnior et al. (2004). A AACPEL foi obtida a partir do cálculo da área situada abaixo da curva que representa a expansão de lesão em função do tempo, por meio da fórmula proposta por Shaner; Finney (1977). Para obtenção do CFL, 144 ha foram selecionadas cinco lesões de forma aleatória e foram mensurados os comprimentos das mesmas com auxílio de um paquímetro digital. Para obtenção do CFL foi considerado como lesão a região necrótica mais a região clorótica.

A severidade da doença foi definida como a porcentagem da área foliar comprometida pela doença em relação à área total da folha e foi avaliada de forma visual a cada 24 horas após o PI. Os valores para TDP foram obtidos a partir da determinação da inclinação da reta, obtida por análise de regressão considerando os valores de severidade da doença em função do tempo de avaliação, conforme proposto por Jesus Júnior et al., (2004). A AACPMA foi obtida a partir do cálculo da área situada abaixo da curva que representa o progresso da severidade em função do tempo utilizando-se a fórmula proposta por Shaner; Finney (1977). A severidade final foi determinada na última avaliação aos oito dias após a inoculação. Para tal as folhas de cada planta de cada tratamento foram digitalizadas e avaliadas por meio do software QUANT (VALE; FERNANDES FILHO; LIBERATO, 2003).

### **3.2.6. Análise foliar da concentração de Si**

Para determinação da concentração foliar de Si foram coletadas as folhas bandeiras das plantas de trigo utilizadas nas avaliações dos componentes de resistência. Após a coleta, as folhas foram lavadas com água destilada e em seguida secas em estufa a  $70^{\circ}\text{C}$  até atingirem peso constante. Em seguida foram desidratadas e depois moídas em moinho tipo Willye equipado com peneira de 20 mesh. A determinação da concentração foliar de Si foi realizada de forma

colorimétrica a partir de 0.1 g de tecido seco submetido à digestão básica (KORNDÖRFER; PEREIRA; NOLLA, 2004).

### **3.2.7. Análise estatística**

Os dados de cada um dos experimentos foram combinados após a verificação da homogeneidade de variância pelos testes de Cochran e Bartlett (GOMEZ; GOMEZ, 1984); e então submetidos à análise de variância e quando observada diferença estatística significativa, submetidos ao teste de Student (teste *t*) ( $P \leq 0.05$ ).

## **3.3. Resultados**

Os fatores aplicação de Si (-Si e +Si) e material vegetal (cultivar Quartzo e Fundacep Horizonte), bem como a interação aplicação de Si x material vegetal foram significativos ( $P \leq 0,05$ ) para todas as variáveis, exceto a interação aplicação de Si x material vegetal para a ERI.

### **3.3.1. Componentes de resistência**

A eficiência relativa de infecção, ERI, foi significativamente menor para a cultivar Quartzo em 11 e 36% respectivamente para plantas sem e com fornecimento de Si, quando comparada com a cultivar Fundacep Horizonte (Fig. 1). Por outro lado, plantas de trigo supridas com Si apresentaram redução na ERI em 53 e 66%, respectivamente, para a cultivar Fundacep Horizonte e cultivar Quartzo, em comparação as plantas não supridas (Fig. 1).

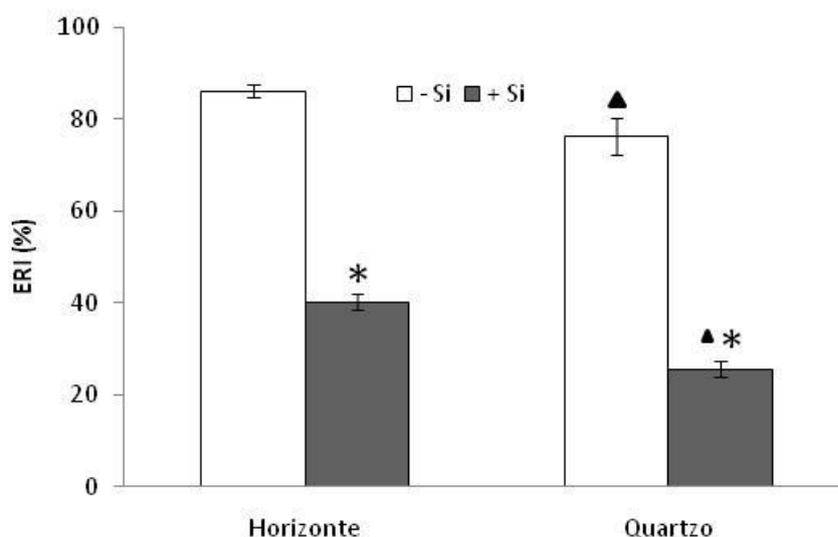


Figura 1. Eficiência relativa de infecção (ERI) de *D. tritici-repentis* em folhas de plantas de trigo das cultivares Fundacep Horizonte e Quartzo cultivadas em solo sem (-Si) e com fornecimento de silício (+Si). Barras representam o desvio padrão da média. (\*) Representa diferença significativa ( $p \leq 0.05$ ) pelo teste *t*, quando comparado plantas -Si e +Si para cada cultivar. (▲) Representa diferença significativa ( $p \leq 0.05$ ) pelo teste *t*, quando comparado cultivares nos tratamentos -Si ou +Si. Pelotas, RS/ UFPel, 2015.

A comparação entre plantas da cultivar Fundacep Horizonte com a cultivar Quartzo, ambas cultivadas sem a suplementação de Si, mostrou que a cultivar Quartzo apresentou acréscimo de 17,7% no PI e redução de 16,3; 15,0; 9,1; 11,1; 12,7 e 20,9%, respectivamente, para *r*, AACPEL, CFL, SF, TDP e AACPMA, em comparação a cultivar Fundacep Horizonte (tab. 11 e 12). Já para plantas de trigo supridas com Si, a cultivar Quartzo apresentou acréscimo de 6,6% no PI e redução de 68,2; 48,4; 57,2; 70,0; 71,3; e 69,0% respectivamente para *r*, AACPEL, CFL, SF, TDP e AACPMA quando comparadas com a cultivar Fundacep Horizonte (tab. 11 e 12).

A aplicação de Si aumentou o PI em 28,3% e 18,6%, respectivamente para as cultivares Fundacep Horizonte e Quartzo, em comparação as plantas não supridas com Si (tab. 11). Por outro lado, redução de 48,8; 46,0; 46,2; 63,0; 64,3 e 70,0%, respectivamente para *r*, AACPEL, CFL, SF, TDP e AACPMA, foram observadas em plantas da cultivar Fundacep Horizonte supridas com Si quando comparadas com plantas não supridas com o elemento (tab. 11 e 12).

Tabela 11. Período de incubação (PI), taxa de expansão de lesão ( $r$ ), comprimento final de lesão (CFL) e área abaixo da curva de progresso expansão de lesão (AACPEL) em folhas de plantas de trigo das cultivares Fundacep Horizonte (H) e Quartzo (Q) cultivadas em solo sem (-Si) e com fornecimento de silício (+Si) e inoculadas com *D. tritici-repentis*. Pelotas, RS/ UFPel, 2015.

Cul.	PI (horas)			R			CFL (mm)			AACPEL		
	- Si	+Si	Dif <sup>1</sup> (%)	- Si	+Si	Dif. (%)	- Si	+Si	Dif. (%)	- Si	+Si	Dif. (%)
H	61.0 bB	85.0 bA	28,2	0.043 aA	0.022 aB	48,8	8.75 aA	4.70 aB	46,2	679.7 aA	367.1 aB	46,0
Q	74.1 aB	91.0 aA	18,6	0.036 bA	0.007 bB	80,5	7.95 aA	2.01 bB	74,7	577.8 bA	189.4 bB	67,2
Dif. (%)	17,7	6,6		16,3	68,2		9,1	7,2		15,0	48,4	
CV (%)	2.33			13.97			12.68			7.00		

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste  $t$  ( $p \leq 0,05$ ).  $n=14$ .

1 – Diferença em porcentagem entre médias dos tratamentos nas linhas e ou nas colunas para cada variável.

Já para as plantas da cultivar Quartzo, a aplicação de Si reduziu a  $r$ , AACPEL, CFL, SF, TDP e AACPMMA, respectivamente, em 80,5; 67,2; 74,7; 87,5; 88,3 e 88,2%, em comparação as plantas não supridas com Si (tab. 11 e 12).

A severidade da mancha amarela, às **192 hai**, em folhas bandeiras de plantas de trigo das cultivares Fundacep Horizonte e Quartzo, supridas ou não com Si estão representados na Figura 2. As diferenças mais evidentes entre os tratamentos são a incidência e o tamanho das lesões. Nas folhas das plantas da cultivar Fundacep Horizonte foi observado maior número de lesões, intensa clorose com coalescência entre as lesões, quando comparadas com as folhas da cultivar Quartzo. Nessa cultivar foi observado um menor número de lesões e halo clorótico, quando presente, limitado a região próxima das mesmas. Muitas das lesões apresentavam tamanho reduzido e com coloração escura, indicando que houve restrição na evolução da doença.

Tabela 12. Severidade final (SF), taxa de progresso da doença (TDP), área abaixo da curva de progresso da mancha amarela (AAPMA) e concentração foliar de silício (% Si na matéria seca) em folhas de plantas de trigo das cultivares Fundacep Horizonte e Quartzo cultivadas em solo sem (-Si) e com fornecimento de silício (+Si) e inoculadas com *D. tritici-repentis*. Pelotas, RS/ UFPel, 2015.

Cul.	SF (%)			TPD			AAPMA			Si (%)		
	- Si	+Si	Dif <sup>1</sup> (%)	- Si	+Si	Dif. (%)	- Si	+Si	Ef. (%)	-Si	+Si	Dif. (%)
H	54.0 aA	20.0 aB	63,0	0.244 aA	0.087 aB	64,3	1638.2 aA	493.6 aB	70,0	0.50 aB	1.59 aA	68,5
Q	48.0 bA	6.0 bB	87,5	0.213 bA	0.025 bB	88,3	1296.4 bA	153.1 bB	88,2	0.55 aB	1.64 aA	66,5
Dif. (%)	11,1	70,0		12,7	71,3		20,9	69,0		9,09	3,04	
CV (%)	10.28			10.19			13.50			27.15		

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste *t* ( $p \leq 0,05$ ).  $n=14$ .

1 – Diferença em porcentagem entre médias dos tratamentos nas linhas e ou nas colunas para cada variável.

Quando comparado as plantas -Si e +Si, para ambas as cultivares, foi observado menor número de lesões e restrição no halo clorótico nas plantas +Si, quando comparadas com as plantas -Si. Nas folhas da cultivar Fundacep Horizonte +Si as lesões foram menores, halo clorótico limitado a proximidade da lesão e muito poucas delas apresentavam coalescência, comparado as plantas -Si. Na cultivar Quartzo +Si, as lesões foram pequenas, sem ou com discreto halo clorótico, e a maioria das lesões apresentavam coloração escura, indicando que houve limitação no seu desenvolvimento (fig. 2).

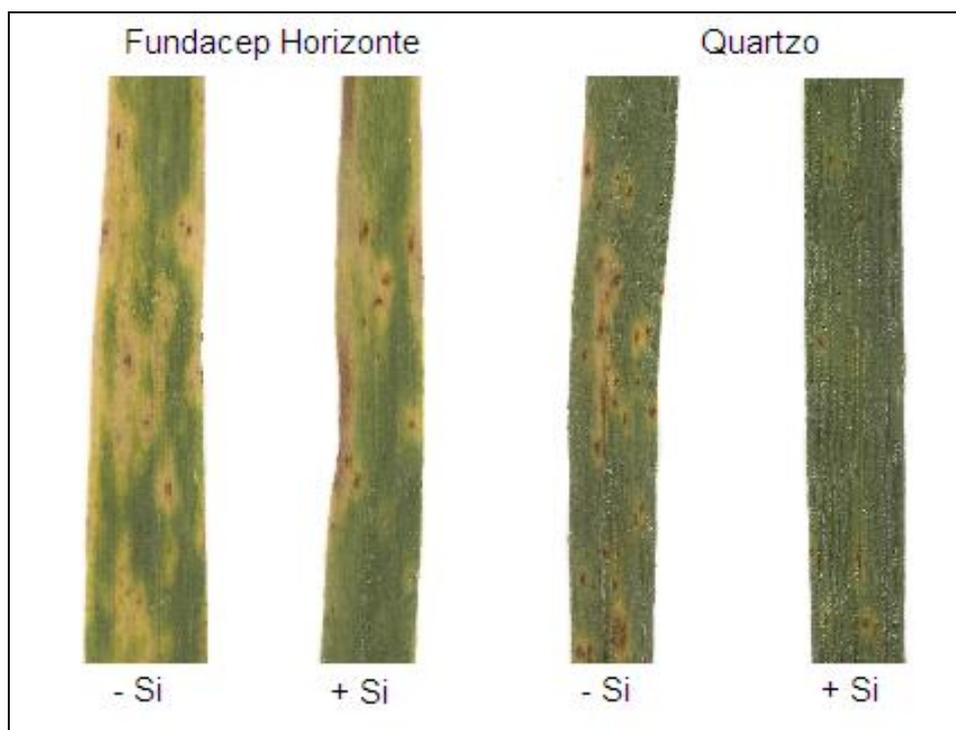


Figura 2. Sintomas da mancha amarela, às 192 horas após inoculação com *D. tritici repentis*, em folhas de plantas de trigo das cultivares Fundacep Horizonte e Quartzo cultivadas em solo sem (-Si) e com (+Si) fornecimento de silício. Pelotas, RS/ UFPel, 2015.

### 3.3.2. Concentração foliar de si

A concentração foliar de Si aumentou significativamente em 68,5 e 66,5%, respectivamente nas plantas das cultivares Fundacep Horizonte e Quartzo supridas com silicato de cálcio, em comparação as plantas não supridas (tab. 12). Não houve diferença significativa na concentração foliar de Si entre as cultivares.

### 3.4. Discussão

O Si não é considerado um elemento essencial para as plantas (EPSTEIN, 2009), porém, quando disponível, pode ser absorvido e acumulado em grande quantidade por algumas espécies (DATNOFF; RODRIGUES; SEEBOLD, 2007; DALLAGNOL, et al., 2009) favorecendo-as por amenizar estresses bióticos e abióticos (EPSTEIN, 2009). Os resultados deste estudo evidenciam que o acúmulo de Si em folhas de trigo foi fundamental para propiciar a redução da intensidade da mancha amarela por meio da interferência em vários componentes monocíclicos da doença.

Na comparação entre as cultivares, a menor severidade e progresso da mancha amarela na cultivar Quartzo foi associada a um maior período de incubação, uma menor taxa de expansão de lesão e menor taxa de progresso da doença. Estudo anterior já havia indicado que a cultivar Fundacep Horizonte apresenta uma maior taxa de expansão de lesão quando comparado com a cultivar Quartzo, e que esta variável tem grande influência sobre a epidemiologia da doença (RANZI, 2012).

A aplicação de Si para as plantas com diferentes níveis de resistência alterou significativamente os componentes de resistência. A cultivar Quartzo, considerada moderadamente resistente à mancha amarela apresentou melhor resposta a aplicação de Si, com maior porcentagem na redução dos componentes de resistência, exceto o PI, quando comparado com a cultivar Fundacep Horizonte, considerada suscetível. Este resultado pode estar relacionado ao efeito sinérgico ou aditivo que o Si conferiu as plantas de trigo sob os mecanismos de defesa genéticos já presentes nas plantas da cultivar Quartzo, bem como por esta cultivar apresentar maiores quantidades de Si no tecido foliar. Segundo Seebold, et al., (2001) cultivares de arroz, com diferentes níveis de resistência genética contra *Magnaporthe grisea*, apresentaram variação no acúmulo de Si do tecido foliar, que pode ser atribuído com a eficiência de absorção de cada cultivar.

A maior quantidade de Si na folha das plantas de trigo afetou a infecção pelo patógeno, retardando este processo, fato que pode ser observado devido os tratamentos que receberam Si apresentarem um maior PI. Este efeito também foi observado para outras doenças em trigo como no patossistema trigo - *Pyricularia grisea* (XAVIER FILHA, et al., 2011) e trigo - *B. graminis* f. sp. *tritici* (BELANGER; BENHAMOU; MENZIES, 2003) para as quais as plantas supridas com Si apresentaram atraso na manifestação dos sintomas da doença. Um fato interessante foi que a porcentagem de redução no PI nas plantas da cultivar Quartzo supridas com Si foi menor que a observada na cultivar Fundacep Horizonte, diferentemente do que foi observado para os demais componentes de resistência. Este resultado pode estar associado ao fato da cultivar Quartzo apresentar um maior nível de resistência contra a mancha amarela, e desta forma a aplicação de Si na cultivar Fundacep Horizonte foi mais expressivo para a PI.

O acúmulo de Si também reduziu a ERI indicando que o processo de infecção foi dificultado, resultado que pode estar associado à barreira física imposta pela polimerização do Si junto à cutícula bem como da potencialização dos mecanismos de defesa pós-formados (RODRIGUES, et al., 2003; RESENDE et al., 2013), resultando em menor número de lesões por unidade de área. A polimerização de silício na epiderme foliar do trigo pode atuar como barreira física, essa está relacionada com a redução dos sítios de infecção por reduzir a funcionalidade dos apressorios bem como reduzir a degradação da camada de cera da folha (DOMICIANO et al., 2013). Já os mecanismos bioquímicos pós-formados que também podem resultar na formação de barreira física como a deposição de calose e formação de papilas já foram demonstrados em trigo em resposta a infecção por *B. graminis* f. sp. *tritici* (BELANGER; BENHAMOU; MENZIES, 2003). Ademais, o acúmulo de compostos fungitóxicos nas células das plantas de trigo, conforme já reportado em plantas de arroz inoculadas com *Magnaporthe grisea* interferindo no desenvolvimento do fungo (RODRIGUES et al., 2003), deve ter contribuído substancialmente para a redução da penetração e estabelecimento do patógeno.

Contudo, conforme indicado pelo estudo de Domiciano et al., (2013), a deposição de Si não é uniforme na superfície foliar e os locais com menor concentração de Si possibilitam o ingresso do patógeno nos tecidos do hospedeiro. Nestes casos, onde o processo de infecção foi bem sucedido, a presença de Si retardou a colonização do hospedeiro pelas hifas do patógeno, reduzindo assim a taxa de expansão de lesão e o tamanho final das lesões. A redução na colonização das células pelo patógeno em plantas supridas com Si diminui as lesões, como também foram reportadas nos patossistemas arroz - *Bipolaris oryzae* e arroz - *Pyricularia oryzae*. (DALLAGNOL et al., 2009; CACIQUE et al., 2012). A AACPEL, que resume o efeito do PI e da taxa de expansão da lesão, foi reduzida significativamente em plantas supridas com Si. Assim, a aplicação de Si em plantas de trigo resultaram em atraso na manifestação das lesões e estas progrediram com menor velocidade, conforme indicada pela redução na taxa de expansão, culminando na menor AACPEL, bem como menor CFL em plantas supridas com Si. Estes resultados podem estar associados a mecanismos bioquímicos de defesa que podem influenciar diretamente no processo de infecção. A atividade enzimática em

plantas de trigo é influenciada pela aplicação de Si (DOMICIANO et al., 2013; XAVIER FILHA, et al., 2011), o que pode atuar diretamente os processos de infecção e colonização da planta pelo fungo. Estes resultados são observados com as reduções na PI, ERI e taxa de progresso da doença e taxa de expansão de lesão, como previamente reportado em estudos envolvendo a aplicação de Si nos patossistemas meloeiro - *Podosphaera xanthii* e arroz - *Bipolaris oryzae* (DALLAGNOL et al., 2009; DALLAGNOL et al., 2012).

A TPD, AACPMA e SF são variáveis dependentes da ERI, taxa de expansão de lesão e do comprimento final de lesão, desta forma a aplicação de Si quando causa alguma interferência em alguma destas variáveis os efeitos influenciam na TPD, AACPMA e SF. A TDP pode ser influenciado pela ERI e pela taxa de expansão de lesão, o que está em acordo com proposto por Bergamin Filho e Amorim (1996). Estes autores afirmam que a expansão das lesões é uma forma alternativa para o aumento de doenças, e é uma das principais formas de progresso da doença em doenças monocíclicas e é uma forma alternativa para doenças policíclicas, principalmente em condições desfavoráveis à esporulação. Resultados semelhantes foram observados por Ranzi, (2012), que concluiu que no início da epidemia a expansão das lesões responde por mais de 80% do total de doença. Desta forma a partir de uma maior taxa de progresso da doença justifica-se a maior SF bem como a maior AACPMA. O efeito significativo das cultivares para os componentes de resistência avaliados neste trabalho apresentaram uma maior suscetibilidade de Fundacep Horizonte, quando comparado com Quartzo para a mancha amarela do trigo, desta forma fica evidenciada a diferença no potencial genético destas cultivares, onde a cultivar Quartzo em todos com componentes de resistência aqui avaliados apresentou melhores resultados. Ranzi, (2012) também observou o melhor desempenho da cultivar Quartzo comparado a F. Horizonte, quando avaliou a severidade e a expansão de lesão da mancha amarela.

### **3.5. Conclusões**

O silício retarda a infecção e colonização de *D. tritici repentis* e o progresso da mancha amarela no trigo.

O silício favorece a resistência da planta de trigo contra a mancha amarela por alterar componentes epidemiológicos.

O efeito do silício aumenta quando associado com maior resistência parcial do hospedeiro à mancha amarela.

### **3.6. Considerações finais**

A aplicação de silício no trigo mostrou-se eficiente em reduzir a severidade da mancha amarela, tanto em casa de vegetação quanto a campo.

O fornecimento de silício para plantas de trigo proporcionou retardamento da infecção e colonização da planta pelo patógeno, sendo este efeito mais expressivo em cultivar de trigo com maior resistência ao patógeno.

A associação entre aplicação de silício e fungicida foi eficiente, desta forma o silício, torna-se uma alternativa no manejo integrado da mancha amarela do trigo.

#### 4. Referências

ABOUKHADDOUR, R. et al. Genome characterization of *Pyrenophora tritici-repentis* isolates reveals high plasticity and independent chromosomal location of ToxA and ToxB. **Molecular Plant Pathology**, Malden, v. 10, n. 2, p. 201-212, 2009.

AGARIE, S. et al. Effects of Silicon on Tolerance to Water Deficit and Heat Stress in Rice Plants (*Oryza sativa* L.), Monitored by Electrolyte Leakage. **Plant Production Science**, Tokyo, v. 1, n. 2, p. 96-103, 1998.

ALCORN, J. L. The taxonomy of "helminthosporium" species. **Annual review of phytopathology**, Palo Alto, v. 26, n. 1, p. 37-56, 1988.

ANDRIE, R. A.; PANDELOVA, L.; CIUFFETTI, L. A. A combination of phenotypic and genotypic characterization strengthens *Pyrenophora tritici-repentis* race identification. **Phytopathology**, St Paul, v. 97, n. 6, p. 694-701, 2007.

ANDRIE, R. M. et al. Homologs of ToxB, a host-selective toxin gene from *Pyrenophora tritici-repentis*, are present in the genome of sister-species *Pyrenophora bromi* and other members of the Ascomycota. **Fungal Genetics and Biology**, v. 45, n. 3, p. 363-377, 2008

ARSENAULT-LABRECQUE, G.; MENZIES, J. G.; BELANGER, R. R. Effect of Silicon Absorption on Soybean Resistance to *Phakopsora pachyrhizi* in Different Cultivars. **Plant Disease**, St Paul, v. 96, n. 1, p. 37-42, 2012.

BANKINA, B. et al. Harmful winter wheat diseases and possibilities for their integrated control in Latvia. **Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science**, v. 64, n. 7, p. 615-622, 2014.

BELANGER, R. R.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J. G. Cytological evidence of an active role of silicon in wheat resistance to powdery mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*). **Phytopathology**, St Paul, v. 93, n. 4, p. 402-412, 2003.

BERGAMIN FILHO, A. & AMORIM, L. **Doenças de plantas tropicais e controle econômico**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1996. 289p.

- BHATHAL, J. S.; LOUGHMAN, R.; SPEIJERS, J. Yield reduction in wheat in relation to leaf disease from yellow (tan) spot and septoria nodorum blotch. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 109, n. 5, p. 435-443, 2003.
- BOCKUS, W. W.; CLAASSEN, M. M. Effects of crop-rotation and residue management-practices on severity of tan spot of winter-wheat. **Plant Disease**, St Paul, v. 76, n. 6, p. 633-636, 1992.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de Análise Sanitária de Sementes / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: Mapa/ACS, 2009. 200 p.
- CACIQUE, I. S. et al. Silicon and manganese on rice resistance to blast. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 2, p. 239-244, 2012.
- CARMONA, M. A.; FERRAZINI, M.; BARRETO, D. E. Tan spot of wheat caused by *Drechslera tritici-repentis*: Detection, transmission, and control in wheat seed. **Cereal Research Communications**, v. 34, n. 2-3, p. 1043-1049, 2006.
- CHERIF, M. et al. SILICON INDUCED RESISTANCE IN CUCUMBER PLANTS AGAINST PYTHIUM-ULTIMUM. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 41, n. 6, p. 411-425, 1992.
- CONAB. Companhia nacional de abastecimento. **Acompanhameto da safra brasileira: Grãos quarto levantamento da safra, Janeiro de 2015**. Companhia nacional de abastecimento – Brasília, CONAB, 2015
- CORREA, R. S. B. et al. Silicon and acibenzolar-S-methyl as resistance inducers in cucumber, against the whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera : Aleyrodidae) biotype B. **Neotropical Entomology**, Londria, v. 34, n. 3, p. 429-433, 2005
- COX, D. J.; HOSFORD, R. M. Resistant winter wheats compared at differing growth-stages and leaf positions for tan spot severity. **Plant Disease**, St Paul, v. 71, n. 10, p. 883-886, 1987.
- DALLAGNOL, L. J. et al. Defective Active Silicon Uptake Affects Some Components of Rice Resistance to Brown Spot. **Phytopathology**, St Paul, v. 99, n. 1, p. 116-121, 2009.
- \_\_\_\_\_. Deficiency in Silicon Uptake Affects Cytological, Physiological, and Biochemical Events in the Rice-Bipolaris oryzae Interaction. **Phytopathology**, St Paul, v. 101, n. 1, p. 92-104, 2011.
- \_\_\_\_\_. Effect of potassium silicate on epidemic components of powdery mildew on melon. **Plant Pathology**, Oxford, v. 61, n. 2, p. 323-330, 2012.
- \_\_\_\_\_. Rice grain resistance to brown spot and yield are increased by silicon. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 56-63, 2014.

DA LUZ, W. C. Avaliação dos tratamentos biológico e químico na redução de patógenos em semente de trigo. **Fitopatologia brasileira**, Brasília, v. 28, n. 1, p. 93-95, 2003.

DATNOFF, L.E.; RODRIGUES, F.A.; SEEBOLD, K.W. Silicon and Plant Disease. In: DATNOFF, L.E.; ELMER, W.H.; HUBER, D.M. (Ed). **Mineral nutrition and plant disease**. St Paul, MN: The American Phytopathological Society. 2007, cap. 17, p. 233-246.

DOMICIANO, G. P. et al. Wheat Resistance to Spot Blotch Potentiated by Silicon. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 158, n. 5, p. 334-343, 2010.

\_\_\_\_\_. Infection process of *Bipolaris sorokiniana* on wheat leaves is affected by silicon. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 38, n. 3, p. 258-263, 2013

DURVEILLER, E.; KANDEL, Y.R.; SHARMA, R.C.; and SHRESTHA, S.M. Epidemiology of foliar blights (spot blotch and tan spot) of wheat in the plains bordering the Himalayas. **Phytopathology** St Paul, v.95, n1, p. 248–256, 2005.

DUVEILLER, E.; SINGH, R. P.; NICOL, J. M. The challenges of maintaining wheat productivity: pests, diseases, and potential epidemics. **Euphytica**, v. 157, n. 3, p. 417-430, 2007.

EPSTEIN, E. Silicon: its manifold roles in plants. **Annals of Applied Biology**, Malden, v. 155, n. 2, p. 155-160, 2009.

FARIS, J. D.; LIU, Z.; XU, S. S. Genetics of tan spot resistance in wheat. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 126, n. 9, p. 2197-2217, 2013.

FORCELINI, C. A. *Doenças Fúngicas do Trigo: resgatando os princípios do controle*. In: **Tecnologia de Produção Para a Cultura do Trigo - Atualidades Técnicas 1**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2005

FORCELINI, C.A.; REIS, R.M. **Doenças da Cevada**. In: Kimati, H; Amorin, L.; Rezende, J.A.M.; Bergamin Filho, A.; Camargo, L.E.A. Manual de fitopatologia: doenças de plantas cultivadas, São Paulo. 2005. p. 231-234.

GAMBA, F. M.; STRELKOV, S. E.; LAMARI, L. Virulence of *Pyrenophora tritici-repentis* in the Southern Cone Region of South America. **Canadian Journal of Plant Pathology-Revue Canadienne De Phytopathologie**, v. 34, n. 4, p. 545-550, 2012.

GOMEZ, K. A.; GOMEZ, A. A. **Statistical Procedures for Agricultural Research**. 2<sup>nd</sup>. ed. NewYork: John Wiley, 1984. 680p.

GÜEVEL, M. H.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Effect of root and foliar applications of soluble silicon on powdery mildew control and growth of wheat plants. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 119, n. 4, p. 429-436, 2007.

- HAYASAKA, T.; FUJII, H.; ISHIGURO, K. The role of silicon in preventing appressorial penetration by the rice blast fungus. **Phytopathology**, St Paul, v. 98, n. 9, p. 1038-1044, 2008.
- JESUS JÚNIOR, W.C. et al. Análise temporal de epidemias. In: Vale FXR, Jesus Junior WC, Zambolim L, (Eds). **Epidemiologia Aplicada ao Manejo de Doenças de Plantas**. Belo Horizonte: Editora Perfil, p.159 -166, 2004.
- JORGENSEN, L. N.; OLSEN, L. V. Control of tan spot (*Drechslera tritici-repentis*) using cultivar resistance, tillage methods and fungicides. **Crop Protection**, v. 26, n. 11, p. 1606-1616, 2007.
- KANTO, T.; MIYOSHI, A.; OGAWA, T.; MAEKAWA, K.; AINO, M. Suppressive effect of potassium silicate on powdery mildew of strawberry in hydroponics. **Journal of General Plant Pathology**, Kyoto, v. 70, n. 4, p. 207-211, 2004.
- KIM, S.G.; KIM, K.W.; PARK, E.W.; CHOI, D. Silicon-induced cell wall fortification of rice leaves: a possible cellular mechanism of enhanced host resistance to blast. **Phytopathology**. St Paul, v. 92, n. 10, p. 1095-1103, 2002.
- KORNDÖRFER, G.; PEREIRA, H.; NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2004. 34p.
- KUHNEM JUNIOR, P. R. et al. Desempenho de fungicidas no controle de doenças foliares em trigo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 8, n. 1, p. 35-42, 2009.
- LARGE, E. C. Growth stages in cereals - Illustration of the feekes scale. **Plant Pathology**, Oxford, v. 3, p. 128-129, 1954.
- LIANG, Y. C. et al. Silicon availability and response of rice and wheat to silicon in calcareous soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 25, n. 13-14, p. 2285-2297, 1994.
- MA, J. F. et al. Role of root hairs and lateral roots in silicon uptake by rice. **Plant Physiology**, Rockville, v. 127, n. 4, p. 1773-1780, 2001.
- \_\_\_\_\_. A rice mutant defective in Si uptake. **Plant Physiology**, Rockville, v. 130, n. 4, p. 2111-2117, 2002
- \_\_\_\_\_. Silicon uptake and accumulation in higher plants. Trends in **Plant Science**, London, v. 11, p.392-397, 2006.
- \_\_\_\_\_.Transport of silicon from roots to panicles in plants. **Proceedings of the Japan Academy Series B-Physical and Biological Sciences**, Tokyo, v. 87, n. 7, p. 377-385, 2011.
- PAGANI, A. P. S.; DIANESE, A. C.; CAFE-FILHO, A. C. Management of wheat blast with synthetic fungicides, partial resistance and silicate and phosphite minerals. **Phytoparasitica**, Rehovot, v. 42, n. 5, p. 609-617, 2014

PATEL, J. S. et al. A Two-Step Molecular Detection Method for *Pyrenophora tritici-repentis* Isolates Insensitive to QoI Fungicides. **Plant Disease**, St Paul, v. 95, n. 12, p. 1558-1564, 2011.

\_\_\_\_\_. Pyraclostrobin sensitivity of baseline and fungicide exposed isolates of *Pyrenophora tritici-repentis*. **Crop Protection**, v. 34, p. 37-41, 2012.

PFENDER, W. F.; SHARMA, U.; ZHANG, W. Effect of water potential on microbial antagonism to *pyrenophora-tritici-repentis* in wheat residue. **Mycological Research**, New York, v. 95, p. 308-314, 1991.

PFENDER, W. F.; KRAUS, J.; LOPER, J. E. A genomic region from *pseudomonas-fluorescens* pf-5 required for pyrrolnitrin production and inhibition of *pyrenophora-tritici-repentis* in wheat-straw. **Phytopathology**, St Paul, v. 83, n. 11, p. 1223-1228, 1993.

PRESTES, A. M.; DOS SANTOS, H. P.; REIS, E. M. Effect of cultural practices on the incidence of leaf blotches of wheat. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasilia, v. 37, n. 6, p. 791-797, 2002.

RANZI, Camila. **Influência de cultivares, do ambiente e fungicidas na expansão de lesão da mancha-amarela do trigo**. 2012. 92f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo

RANZI, C., et al., Curative sprays of fungicides and their effect on lesion expansion of the wheat tan spot. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 9, p. 1576-1581, 2013.

REES, R. G.; PLATZ, G. J. The epidemiology of yellow spot of wheat in southern queensland. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v. 31, n. 2, p. 259-267, 1980.

\_\_\_\_\_. Effects of yellow spot on wheat - comparison of epidemics at different stages of crop development. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v. 34, n. 1, p. 39-46, 1983.

REIS, E. M.; CASA, R. T. **Doenças do Trigo VI - Mancha Amarela da Folha**. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 1996. 16p.

\_\_\_\_\_. **Doenças do Trigo**. In: Kimati, H; Amorin, L.; Rezende, J.A.M.; Bergamin Filho, A.; Camargo, L.E.A. Manual de fitopatologia: doenças de plantas cultivadas, São Paulo, 2005. p.631-638.

\_\_\_\_\_. **Doenças dos cereais de inverno – diagnose, epidemiologia e controle**. Lages: 2007. 176p.

REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, **Informações técnicas para trigo e triticale – safra 2013**. Londrina/PR: Instituto Agrônomico do Paraná (IAPAR), 2013. 220 p.

RESENDE, R. S. et al. Microscopic and biochemical aspects of sorghum resistance to anthracnose mediated by silicon. **Annals of Applied Biology**, Malden, v. 163, n. 1, p. 114-123, 2013.

RODRIGUES, F. A. et al. Ultrastructural and cytochemical aspects of silicon-mediated rice blast resistance. **Phytopathology**, St Paul, v. 93, n. 5, p. 535-546, 2003.

\_\_\_\_\_. Silicon enhances the accumulation of diterpenoid phytoalexins in rice: A potential mechanism for blast resistance. **Phytopathology**, St Paul, v. 94, n. 2, p. 177-183, 2004.

\_\_\_\_\_. Silicon influences cytological and molecular events in compatible and incompatible rice-Magnaporthe grisea interactions. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 66, n. 4, p. 144-159, 2005.

RONIS, A. et al. Influence of leaf diseases on grain yield and yield components in winter wheat. **Journal of Plant Protection Research**, Poznan, v. 49, n. 2, p. 151-157, 2009.

SAMUELS, A. L. et al. Silicon in cell-walls and papillae of cucumis-sativus during infection by sphaerotheca-fuliginea. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 44, n. 4, p. 237-242, 1994.

SEEBOLD, K. W. et al. The influence of silicon on components of resistance to blast in susceptible, partially resistant, and resistant cultivars of rice. **Phytopathology**, St Paul, v. 91, n. 1, p. 63-69, 2001.

SCHILDER, A. M. C.; BERGSTROM, G. C. Seed transmission of *Pyrenophora-tritici-repentis*, causal fungus of tan spot of wheat. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 101, n. 1, p. 81-91, 1995.

SHANER, G.; FINNEY, R. E. Effect of nitrogen-fertilization on expression of slow-mildewing resistance in knox wheat. **Phytopathology**, St Paul, v. 67, n. 8, p. 1051-1056, 1977.

SIVANESAN, A. **Graminicolous species of Bipolaris, Curvularia, Drechslera, Exserohilum and their teleomorphs**. Wallingford, U. K. Ed. CAB International, 1987. 261 p

SOUSA, R. S. et al. Cytological aspects of the infection process of *Pyricularia oryzae* on leaves of wheat plants supplied with silicon. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 472-477, 2013.

TADESSE, W. et al. Relationship of seedling and adult plant resistance and evaluation of wheat germplasm against tan spot (*Pyrenophora tritici-repentis*). **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 58, n. 3, p. 339-346, 2011.

TORMEN, N. R. et al. Reaction of wheat cultivars to leaf rust and yellow spot and responsiveness to fungicides. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 2, p. 239-246, 2013.

VALE, F.X.R.; FERNANDES FILHO, E.I.; LIBERATO, J.R. A software plant disease severity assessment. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF PLANT PATHOLOGY, 8., 2003, Christchurch. **Anais ...** Christchurch: New Zealand, 2003. p. 105.

VAN BOCKHAVEN, J.; DE VLEESSCHAUWER, D.; HOFTE, M. Towards establishing broad-spectrum disease resistance in plants: silicon leads the way. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 64, n. 5, p. 1281-1293, 2013

XAVIER FILHA, M. S. et al. Wheat resistance to leaf blast mediated by silicon. **Australasian Plant Pathology**, Collingwood, v. 40, n. 1, p. 28-38, 2011.

XU, C.-X.; LIU, Y.-L. Silicon absorption, transport and accumulation in plants. **Xibei Zhiwu Xuebao**, China, v. 26, n. 5, p. 1071-1078, 2006.

YOSHIDA S, OHNISHI Y, KITAGISHI K,. Chemical forms, mobility and deposition of silicon in rice plant. **Soil Science and Plant Nutrition**, n 8, p. 15-21. 1962.